

Rapport de stage

Effets d'un changement de stratégie de gestion de l'enherbement en verger d'agrumes en vue de constituer un habitat favorable à la faune auxiliaire :

Analyse de la réponse des adventices et évaluation
de leurs potentialités à favoriser les auxiliaires

Léo Santurette

Master 2

Mention Ecologie Biodiversité

Parcours Biodiversité Végétale Tropicale

Université des Sciences et Techniques Montpellier 2

Directeur de stage : **Fabrice Le Bellec**

Du 26 janvier 2014 au 23 Juin 2014

**Centre de coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le
Développement**

UR HORTSYS- Fonctionnement
agroécologique et performances des systèmes
de culture horticoles

Station de Bassin Plat

BP 180

97455 Saint-Pierre Cedex

Tél : 02 62 96 93 60



Effets d'un changement de stratégie de gestion de l'enherbement en verger d'agrumes en vue de constituer un habitat favorable à la faune auxiliaire :

Analyse de la réponse des adventices et évaluation de leurs potentialités à favoriser les auxiliaires

Par Léo Santurette M2 BVT

Directeur de stage : **Fabrice Le Bellec**

Du 26 janvier 2014 au 23 Juin 2014

**Centre de coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement**
UR HORTSYS- Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles
Station de Bassin Plat
BP 180
97455 Saint-Pierre Cedex
Tél : 02 62 96 93 60



Sommaire

I. Introduction.....	p1
I.1. Lutte chimique contre les bioagresseurs en verger d'agrumes.....	p2
I.2. La lutte biologique par conservation comme alternative.....	p2
I.3. Concepts de l'écologie et adventices au service de la lutte biologique.....	p3
I.4. Réponse fonctionnelle des adventices aux itinéraires techniques.....	p5
I.5. Approche expérimentale et visée de l'étude.....	p6
II. Matériel et Méthodes.....	p7
II. 1 Verger expérimental.....	p8
II. 1.1 Données pédoclimatiques et caractéristiques du verger.....	p8
II.1.2 Conduite du verger.....	p8
II. 2 Expérimentation.....	p9
II.2.1 Modalités de gestion de l'enherbement expérimentées	p9
II. 2.2 Echantillonnage des adventices.....	p10
II. 2.3 Notation des traits fonctionnels.....	p11
II. 3 Analyses des données.....	p13
III. Résultats.....	p14
III.1. Communauté végétale avant traitement (t0).....	p15
III.2. Communauté végétale après traitement (t1).....	p15
III.2.1 Richesse spécifique dans la parcelle.....	p15
III.2.2. Effet des différentes stratégies de gestion de l'enherbement.....	p16
III.3. Typologie fonctionnelle des adventices échantillonnées.....	p16
III.3.1. Traits d'effets sur la faune auxiliaire.....	p16
III.3.1.1 Typologie issue de l'ACM.....	p16
III.3.1.2 Typologie issue des scores.....	p17
III.3.1.3 Traits de réponse aux perturbations de la flore adventice.....	p18
IV. Discussion.....	p20
IV.1. Effet des pratiques testées sur la communauté adventice.....	p21
IV.2. Quels traits rechercher pour favoriser les auxiliaires ?.....	p22
IV.3. Les espèces et leurs stratégies écologiques.....	p23
V. Conclusion.....	p24
V. Conclusion.....	p25

I. Introduction

I.1. Lutte chimique contre les bioagresseurs en verger d'agrumes

Les bioagresseurs peuvent entraîner d'importantes pertes de rendements (Etienne et Vilardebo, 1978 ; Quilici *et al.*, 2003) ou, a minima, déprécier la qualité des récoltes, les rendant invendables (Quilici *et al.*, 2003). Pour minimiser l'impact de ces bioagresseurs, les moyens de lutte restent encore à l'heure actuelle l'utilisation de pesticides (Niu *et al.*, 2014). Bien que ces produits permettent en général de lutter efficacement contre les principaux bioagresseurs, des effets indirects sont pointés (Le Bellec *et al.*, 2013). En effet, ces pesticides peuvent entraîner des effets secondaires sur l'environnement (Floch *et al.*, 2011 ; Pedlowski *et al.*, 2012 ; Reichenberger *et al.*, 2007 ; Jannoyer-Lesueur *et al.*, 2012) et sur la santé humaine (Bolognesi et Merlo, 2011 ; Landau-Ossondo *et al.*, 2009). A l'échelle du producteur, l'usage important et répété de ces pesticides représente un coût non négligeable (Niu *et al.*, 2014) et peut conduire à des impasses techniques notamment à cause du développement de résistance de certains bioagresseurs à ces pesticides (Zhao, 2000). En conséquence, à l'échelle nationale, un plan d'action (plan Ecophyto¹) vise à réduire la dépendance des exploitations agricoles aux pesticides et les risques liés à leur usage, tout en maintenant un niveau élevé de production agricole, en quantité et en qualité. Tous les systèmes de culture sont concernés par ce plan. Les agrumes cultivés à la Réunion sont la cible d'un cortège de bioagresseurs important conduisant à une utilisation de pesticide, et particulièrement d'insecticides, non négligeable (entre 7 et 15 traitements par an) (com. perso. Le Bellec).

Les objectifs de développement de l'agrumiculture réunionnaise visent à rechercher des alternatives à l'utilisation des insecticides par la (re)conception de systèmes de cultures alternatifs et durables. Ces objectifs sont portés par le projet Agrum'Aide² du Cirad financé dans le cadre du plan Ecophyto.

I.2. La lutte biologique par conservation comme alternative

En s'inspirant du fonctionnement des écosystèmes naturels et notamment en mobilisant les processus de régulations écologiques, il est possible de concevoir des systèmes de culture agro-écologiques caractérisés par leurs faibles impacts environnementaux grâce à une faible utilisation d'intrants chimiques (Dorel *et al.*, 2011 ; Malézieux *et al.*, 2009). Ces processus écologiques, appliqués au champ cultivé, constituent de nouvelles voies

¹ Détails du plan Ecophyto : <http://agriculture.gouv.fr/ecophyto>

² Présentation du projet Agrum'Aide : La Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) et le ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (MAAF) se sont associés pour élaborer un appel à projets de recherche intitulé « La biodiversité pour réduire l'emploi des produits phytosanitaires » et pour lequel le projet Agrum'Aide du Cirad a été retenu. Ce projet est financé par l'office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) dans le cadre du plan Ecophyto.

mobilisables pour concevoir une agriculture performante et respectueuse de l'environnement (Rosset et Altieri, 1997 ; Moonen et Bàrberi, 2008). C'est pourquoi, dans le cas de la lutte contre les bioagresseurs, la lutte biologique apparaît comme la piste de recherche à privilégier (Gurr et Wratten, 1999 ; Niu *et al.*, 2014). Cette méthode de lutte repose sur un pilotage des réseaux trophiques, permettant d'accentuer l'effet top-down (i.e. régulation des ressources par les consommateurs) qu'exercent les ennemis naturels, e.g. des auxiliaires prédateurs ou parasitoïdes des bioagresseurs d'une culture (Landis *et al.*, 2000). Aujourd'hui, trois approches distinctes peuvent être envisagées dans le cadre de la lutte biologique contre les ravageurs des agrumes. La lutte biologique par acclimatation, qui consiste à introduire des auxiliaires exotiques (Quilici *et al.*, 1995). La lutte biologique par augmentation, qui elle consiste à élever puis à lâcher des auxiliaires pour contrôler une population de ravageurs (Burrell et McCormick, 1997). Enfin, la lutte biologique par conservation qui consiste en une manipulation de l'environnement intra et extra-parcellaire permettant de créer un milieu favorable aux auxiliaires (Gurr *et al.*, 1998). Cette manipulation vise à favoriser la diversité, l'abondance, la survie, la fécondité et la longévité des auxiliaires présents à l'échelle du paysage, et ainsi augmenter leur efficacité (Landis *et al.*, 2000). Elle peut se faire via la création d'habitats refuges et/ou la production de source de nourritures alternatives (Rabb *et al.*, 1976, Landis *et al.*, 2000), on parle alors de lutte biologique par conservation et gestion des habitats (Le Roux *et al.*, 2008). Dans les vergers, se trouvent des espaces encore peu valorisés à ce jour et qui pourraient jouer ce rôle d'habitat favorable aux auxiliaires: les enherbements.

I.3. Concepts de l'écologie et adventices au service de la lutte biologique

L'augmentation de la biodiversité dans un agro-écosystème peut résulter en une diminution des attaques de ravageurs (Altieri, 1999 ; Ratnadass *et al.*, 2012). En ce sens, la flore adventice classiquement considérée comme nuisible pour les cultures, comme celle des enherbements spontanés des vergers peut être incluse dans cette démarche d'augmentation de la biodiversité. Cependant, Gurr *et al.*, (1998) précise qu'il convient de favoriser la 'bonne diversité', et non pas la biodiversité *per se*, en identifiant quels sont les éléments de cette diversité à favoriser. Mais comment évaluer cette 'bonne diversité' ? La diversité fonctionnelle, concept de l'écologie des communautés, peut avoir ce rôle prédictif (McGill *et al.*, 2006 ; Gaba *et al.*, 2013). Les plantes possèdent une diversité de traits fonctionnels, i.e. des caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques qui affectent la valeur sélective de l'individu (Violle *et al.*, 2007). Ces traits peuvent constituer la réponse d'une

plante à certains facteurs environnementaux (Lavorel *et al.*, 1997, Keddy 1992, Lavorel et Garnier 2002) et/ou être susceptibles d'influencer le fonctionnement et les propriétés des écosystèmes (Díaz et Cabido 2001, Lavorel et Garnier 2002). Ainsi, comme le suggère Cortesero *et al.* (2000), les plantes peuvent être caractérisées par un ensemble de traits qui influencent l'activité des auxiliaires (i.e. des traits d'effet). Renseigner les valeurs prises par ces traits dans une communauté d'adventices, permettrait d'établir une typologie des espèces ayant un effet similaire sur la faune auxiliaire. Grime (1998), propose l'hypothèse du 'mass-ratio' selon laquelle chaque espèce contribue au fonctionnement de l'écosystème en proportion de sa contribution à la biomasse totale (i.e. de son abondance relative). En d'autres termes, les traits des espèces dominantes en biomasse sont en grande partie à l'origine des processus écosystémiques. Il est donc nécessaire, au préalable, d'identifier les traits en lien avec le service écosystémique souhaité (De Bello *et al.*, 2010 ; Lavorel, 2013), dans notre cas nous visons la régulation des bioagresseurs par leurs ennemis naturels. Mais quels traits fonctionnels les favorisent-ils ?

Les domaties sont de petites poches, cavités ou touffes de trichomes situées à la jonction des nervures primaires et secondaires de la surface inférieure des feuilles (O'Dowd et Willson, 1989). Leur présence peut offrir aux auxiliaires des abris et des sites de ponte (Walter et O'Dowd, 1992 ; Cortesero *et al.*, 2000). Des feuilles à nervures proéminentes et les trichomes peuvent également avoir ces mêmes fonctions (Karban *et al.*, 1995; Walter, 1996). Plus spécifiquement, selon le type et la densité des trichomes, la mobilité des auxiliaires peut être perturbée affectant leur rôle de prédation ; a contrario, certains petits auxiliaires (e.g. *Phytoseiidae*) peuvent être abrités par ces trichomes limitant leur propre prédation par un autre prédateur (Obrycki, 1986 ; Kauffman et Kennedy, 1989 ; Sutterlin et van Lenteren, 1997 ; Agrawal, 2000). Les trichomes peuvent enfin être des capteurs de pollens véhiculés par le vent pouvant servir ensuite de nourriture alternative aux auxiliaires (Schmidt, 2014). Les feuilles composées et/ou ayant une marge très découpée auxquelles les auxiliaires peuvent s'accrocher, facilitent leur maintien sur la plante (Cortesero *et al.*, 2000). Enfin, des espèces ayant une forte capacité de recouvrement au niveau du sol permettent le maintien d'un micro-habitat dont les conditions d'humidité et de température sont favorables à l'hébergement de la faune auxiliaire (Norris, 2005 ; Mailloux *et al.*, 2010). Nombre d'auxiliaires sont floricoles, tout ou partie de leur vie (Cortesero *et al.*, 2000), c'est pourquoi il apparaît intéressant de leur offrir également un habitat où ils trouveront cette ressource. Certains traits floraux sont déterminants pour ce qui est de la facilité de repérage et de l'accès des auxiliaires à cette ressource (Makrodimos *et al.*, 2008). La couleur de l'inflorescence constitue un indice visuel

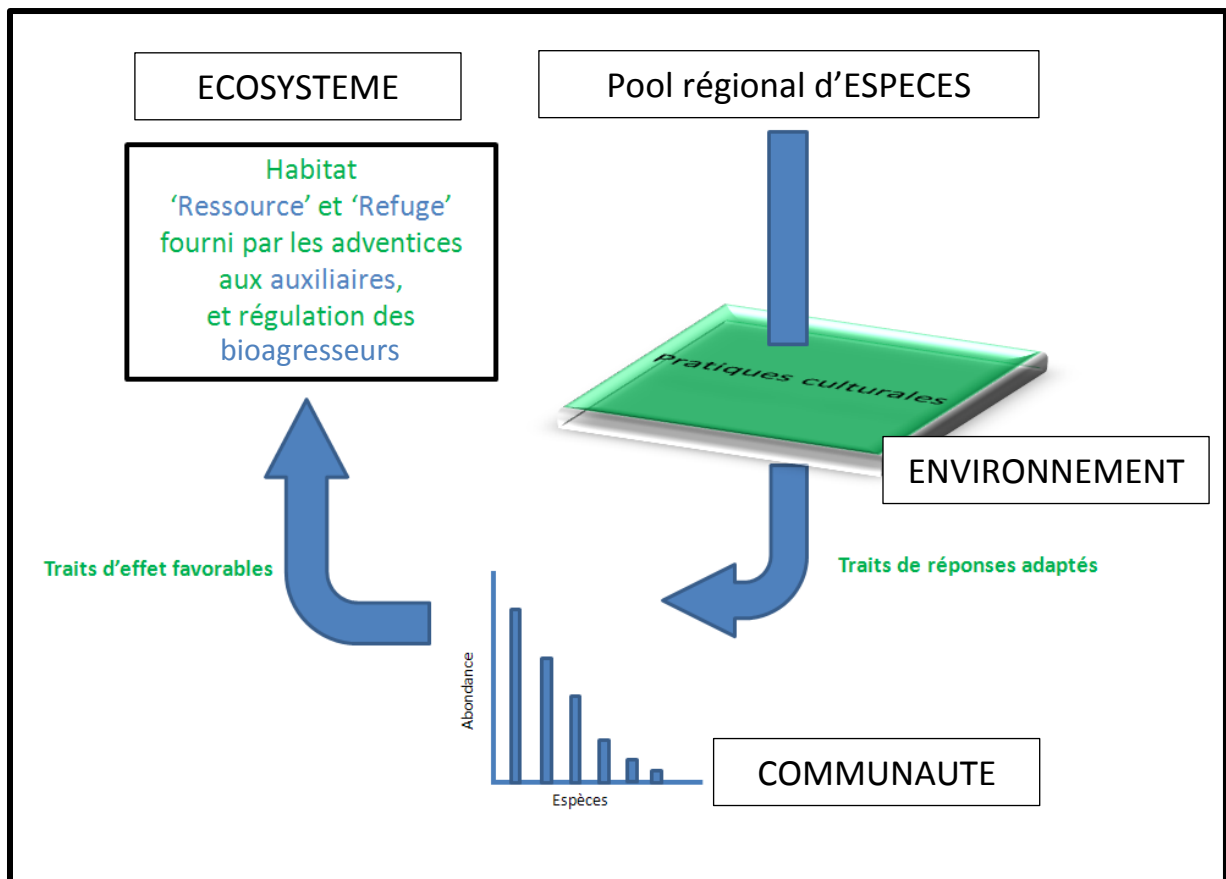


Figure 1 : L'écologie fonctionnelle au service de la lutte biologique

dont se servent les auxiliaires pour repérer d'éventuelles sources de nectar ou de pollen (Cortesero *et al.*, 2000). Machado et Lopes (2004) et Begum *et al.* (2004) ont par exemple montré que les inflorescences les plus visitées par les insectes, sont de couleurs blanche ou jaune. Une grande inflorescence suppose une meilleure visibilité et donc un repérage facilité de la ressource par les auxiliaires à la recherche de nectar ou de pollen (Goulson, 1999 ; Sivinski *et al.*, 2011). De même, des fleurs ouvertes offrent une plus grande facilité d'accès au nectar et au pollen, et pour une plus large gamme d'auxiliaires (Tooker, 2006 ; Makrodimos *et al.*, 2008). Les auxiliaires consomment aussi les nectars extra-floraux (Cortesero *et al.*, 2000). Chez de nombreuses plantes, le nectar extra-floral est produit durant une plus grande période que le nectar floral, il est de ce fait plus fréquemment consommé, notamment par les *Coccinellidae* (Lundgren, 2009).

I.4. Réponse fonctionnelle des adventices aux itinéraires techniques

Les pratiques culturales constituent des filtres qui sélectionnent les espèces dont les traits de réponses sont les plus adaptés pour recoloniser le milieu après perturbation (Gaba *et al.*, 2013). Nous entendons ici par perturbation 'tout événement temporel discret qui perturbe la structure de l'écosystème, de la communauté ou de la population et qui modifie la disponibilité des ressources et l'environnement physique' (White et Pickett, 1985), comme cela peut être le cas suite à une destruction totale ou partielle de la biomasse végétale. Il serait donc possible de concevoir des stratégies de gestion de la flore adventice permettant de sélectionner, suite à la perturbation engendrée, des espèces possédant certains traits de réponses (i.e. des traits adaptés) et de ce fait, sélectionner indirectement certains traits d'effet (i.e. si possible des traits favorables aux auxiliaires). La Figure 1 illustre ce raisonnement. Les traits de réponses qui déterminent la capacité d'une adventice à coloniser un milieu sont principalement liés à l'utilisation des ressources, la dispersion, la capacité de régénération, la compétitivité et la phénologie (Gaba *et al.*, 2013).

Le SLA (Specific Leaf Area) est un trait représentatif du compromis entre le taux d'acquisition et la conservation des ressources par les plantes, et permet ainsi d'apprécier leur stratégie d'utilisation des ressources disponibles (Westoby, 1998 ; Wright *et al.*, 2004). La masse de graines est quant à elle impliquée dans différentes composantes du fonctionnement des plantes, dont la capacité de dispersion et d'établissement des plantules (Westoby 1998 ; Weiher *et al.* 1999). Elle détermine la compétitivité des plantules et la capacité de colonisation d'une espèce via un compromis entre la production d'un grand nombre de petites graines et la production d'un petit nombre de grosses graines pour un même effort reproductif

(Rees et Westoby 1997; Turnbull *et al.*, 1999). La hauteur maximale qu'un individu mature d'une espèce peut atteindre dans un habitat donné traduit la compétitivité de son espèce, sa position dans la stratification verticale du couvert, i.e. son accès à lumière, et la hauteur atteignable entre deux perturbations (Westoby, 1998 ; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Le cycle de vie est aussi un bon indicateur de la capacité de persistance d'une espèce dans un environnement régulièrement perturbé. On observe dans les stratégies écologiques des plantes, un compromis entre la durée de vie et la dispersion dans le temps et l'espace. Des espèces pérennes ont souvent des graines dont la durée de vie dans le stock semencier du sol est faible, et produisent des fruits ou des graines ayant une faible capacité de dispersion. Tandis que des espèces annuelles ont généralement un temps de persistance dans la banque de graines plus grand et/ou un plus important potentiel de dispersion (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Enfin, le mode de dispersion détermine fortement la distance que les graines peuvent parcourir, et donc le potentiel de colonisation de l'espèce (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013).

Ces différents traits sont souvent utilisés pour étudier les réponses à une perturbation (Diaz et Cabido, 1997). Ils permettent d'appréhender le fonctionnement des espèces et les stratégies écologiques qu'elles mettent en œuvre (Westoby, 1998).

I.5. Approche expérimentale et visée de l'étude

En verger d'agrumes, la surface occupée par l'enherbement varie selon la structure du verger et les pratiques culturales entre 30 et 75%. La gestion actuelle de l'enherbement (i.e. passage d'un broyeur à marteau environ tous les 2/3 mois) conduit à un régime de perturbation important et régulier. Notre étude se propose de tester l'effet d'un changement de stratégie de gestion de l'enherbement en verger d'agrumes en vue de constituer un habitat favorable à la faune auxiliaire. Différents modes de gestion de l'enherbement seront testés sur une parcelle expérimentale, avant qu'ils ne le soient chez les producteurs. Chacune des espèces composant la communauté végétale de l'enherbement de la parcelle sera caractérisée par un ensemble de traits d'effet favorables ou non aux auxiliaires. Par la suite, nous nous attacherons aux traits susceptibles d'être impliqués dans la réponse de ces espèces au mode de gestion de l'enherbement, et identifierons lesquels se sont révélés discriminants pour la recolonisation du milieu en fonction du type de perturbation. Ceci permettra d'apporter des éléments de réponse à la problématique générale de ce mémoire : Quelle stratégie de gestion de l'enherbement permet de soutenir au mieux la lutte biologique contre les ravageurs en verger d'agrumes ?

II. Matériel et Méthodes

II. 1 Verger expérimental

II. 1.1 Données pédoclimatiques et caractéristiques du verger

Le site expérimental est situé à Bassin Plat, dans le sud de l'île de la Réunion (21°19'25S ; 55°29'18E ; altitude 153 m). La parcelle expérimentale est un verger d'agrumes (*Citrus sinensis* x *C. reticulata* cv Tangor greffé sur *Citrangue carrizo*) de 149 arbres (3000 m²). Les arbres y ont été plantés en quinconce en mars 2012 après 1 an de jachère laquelle a été précédée de plusieurs cycles de cultures annuelles (maïs et cucurbitacées). Les arbres mesurent environ 1m50 et n'ont pas encore fructifié. Le sol est de type brun andique. Le climat est tropical, deux saisons se succèdent au cours de l'année. La saison sèche débute au mois de mai et s'achève au mois de novembre (hiver austral). La saison humide s'étend de novembre à avril (été austral). La pluviométrie annuelle est aux alentours de 700 mm/an et les températures journalières sont comprises entre 12 et 34°C selon la saison.

II.1.2 Conduite du verger

Depuis la mise en place du verger en 2012, des apports d'engrais chimique (100 g par arbre de 30-10-10) et/ou organique (1,5 kg par arbre d'engrais organique 'Fulet', 3-6-12 + 4MgO) sont réalisés tous les 6 mois sous la frondaison des arbres. La parcelle est irriguée tous les trois jours à raison de 8 L d'eau par arrosage. Les traitements phytosanitaires sont réalisés en fonction des bioagresseurs observés. Trois traitements à l'Oviphyt (Huile de vaseline 817 G/L, 2 L/HL) ont été nécessaires en juin 2012, septembre 2012 et septembre 2013 pour maîtriser *Toxoptera aurantii*, le puceron noir de l'oranger.

De mars 2012 à février 2014, la gestion de l'enherbement de la parcelle a été effectuée en considérant deux zones différenciées. Une première zone de compétition avec les arbres, correspondant à une bande d'un mètre s'étalant sur 50cm de part et d'autre des lignes de plantation (zone 1) ; et une zone de moindre compétition avec les arbres, correspondant à une bande de 5m entre les lignes de plantation (zone 2). Sur la zone 1, deux herbicides par an ont été nécessaires (glyphosate 360g L⁻¹ à la dose de 4 L ha⁻¹) afin de limiter les compétitions pour l'eau et les fertilisants entre la végétation spontanée et les arbres. Sur la zone 2, la végétation spontanée a été maîtrisée trois fois par an à l'aide d'un broyeur à marteau (SML 155, SEPP[®]), et ce en deux temps. Dans un premier temps, l'outil était passé sur deux bandes de 1,50 m jouxtant les zones 1, de sorte qu'une bande enherbée de 2m était conservée au centre des inter-rangs. Une fois que les adventices avaient recolonisé les deux bandes coupées (i.e. entre 2 et 4 mois selon la saison), le broyeur à marteau était passé sur la bande centrale préservée lors du premier passage (Fig 2). Cette stratégie de gestion de l'enherbement

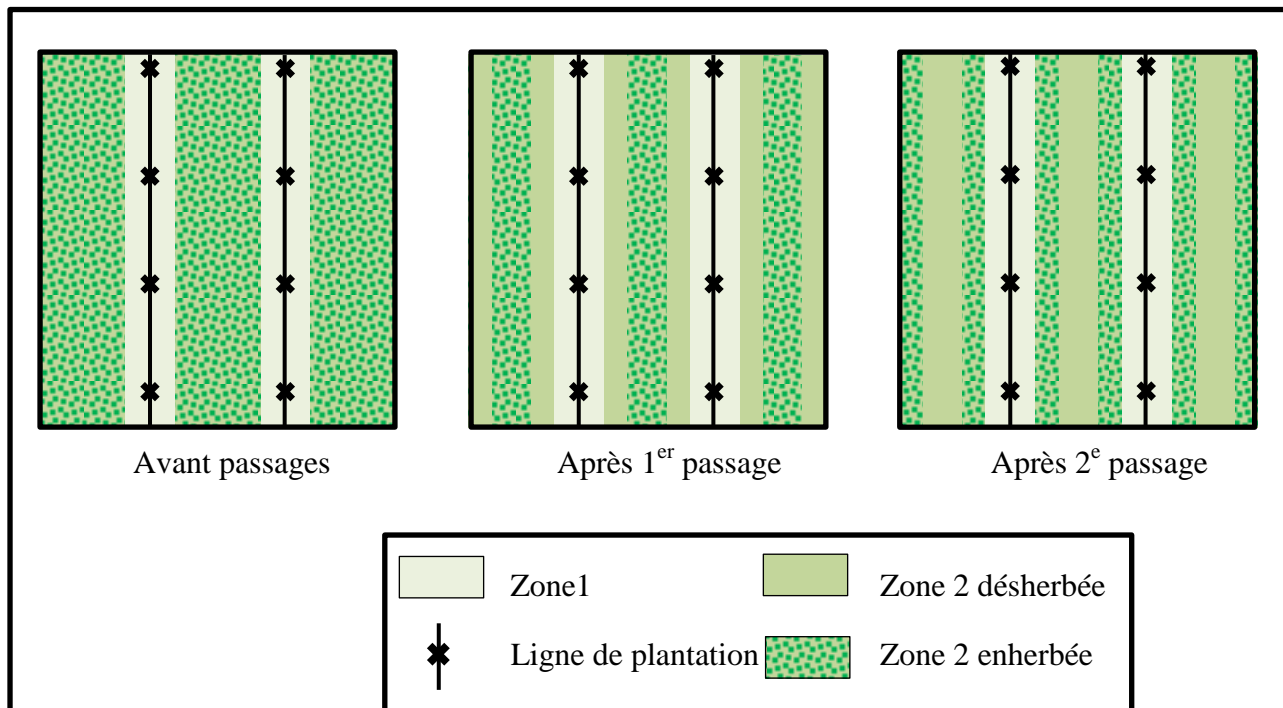


Figure 2 : Schéma de la gestion de l'enherbement avant mise en place de l'essai

permet de conserver en permanence des zones d'habitats peu perturbés et favorables au maintien de la faune auxiliaire dans la parcelle.

II. 2 Expérimentation

II.2.1 Modalités de gestion de l'enherbement expérimentées

L'essai s'est déroulé de février à juin 2014. L'expérimentation vise à évaluer l'impact de différentes méthodes (4 traitements) de gestion de l'enherbement sur l'abondance et la diversité fonctionnelle de la flore adventice. Les traitements retenus tiennent compte de leur potentiel d'adoption par les producteurs (i.e. mobilisables dans différents contextes culturels et représentant un coût abordable).

Traitement témoin BM : gestion de l'enherbement par un broyeur à marteau (SML 155 SEPPI®) en 1 passage. Cet outil coupe le couvert végétal au niveau du sol tout en le broyant créant ainsi un mulch. Il permet de supprimer la totalité de la biomasse aérienne des adventices. Ce traitement correspond à la pratique de gestion la plus répandue actuellement en verger d'agrumes à la Réunion, et à celle effectuée sur la parcelle depuis sa plantation, de ce fait, il constituera le témoin de notre expérimentation.

Traitement CC : gestion de l'enherbement par un cover-crop en X (18 disques de 45 cm de diamètre Grégoire & Besson®). C'est un outil utilisé généralement pour un travail du sol plus ou moins profond en vue de le préparer, par exemple, pour un semis. Dans notre cas, le réglage de l'outil et la vitesse d'avancement (rapide) nous a permis un travail du sol superficiel (10-15 cm) détruisant l'enherbement tout en minimisant les remontées de pierres.

Traitement F : gestion de l'enherbement par une barre de fauche (Kawasaki®). La barre de fauche a été passée à 10cm au-dessus du sol afin de conserver un couvert végétal. Les plantes sont fauchées et non broyées accentuant le contraste entre ce traitement et le traitement BM. Le résultat de cette fauche est laissé au sol créant ainsi un paillage grossier.

Traitement H : gestion de l'enherbement par un herbicide (glyphosate 360g L⁻¹ à la dose de 4 L ha⁻¹). Ce désherbant systémique permet de supprimer la totalité de la flore adventice.

Le dispositif mis en place est basé sur un plan en split-plot que nous avons adapté en fonction des contraintes liées aux deux types de mécanisation. Les traitements BM et CC mettent en effet en œuvre une mécanisation lourde (tracteur + outil) dont le passage n'est pas sans impacts à la différence des traitements F et H (outillage porté par l'ouvrier). Nous avons donc effectué les traitements BM et CC sur toute la longueur d'un inter-rang. Il y a donc des inter-rangs gérés par une mécanisation lourde, comprenant les modalités BM et CC et des

inter-rangs gérés par une mécanisation légère comprenant les modalités F et H. Par ailleurs, l'inertie du cover-crop (traitement CC) nécessite que le tracteur parcoure une distance d'environ 2 m entre le moment où les disques sont posés sur le sol et le moment où ces disques le pénètrent. En conséquence, pour ne pas travailler le sol des sous-parcelles destinées au traitement BM, nous avons positionné le traitement CC en bordure de la parcelle, afin de pouvoir lancer les disques à l'extérieur de la parcelle. Les outils utilisés et leurs rendus sont présentés Annexe 1.

La parcelle a été divisée en 6 blocs (soient 6 répétitions). Chacun des blocs, comprend les 4 modalités (traitements BM, CC, F et H) du facteur 'gestion de l'enherbement', lesquelles s'étendent sur 13 m d'inter-rang (soit 65 m²). Nous appellerons ces espaces les 'sous-blocs', il y a donc 24 sous-blocs. Il n'a pas été possible de totalement randomiser la localisation dans les blocs des 4 modalités de gestion de l'enherbement, à cause des contraintes liées à la mécanisation comme expliqué plus haut. Sur les huit inter-rangs de la parcelle, trois ont reçu les traitements BM et CC, et trois ont reçu les traitements F et H (Fig 3). Les deux inter-rangs restant ne sont pas étudiés. L'enherbement de ces deux inter-rangs et celui du pourtour de la parcelle ont tout de même été soumis au traitement BM pour limiter leur influence sur la dynamique de recolonisation du milieu après les quatre types de perturbation. De même, la flore sous la frondaison des arbres a été préalablement détruite par un herbicide systémique (glyphosate 360g L⁻¹ à la dose de 4 L ha⁻¹) et celle du rang (entre les arbres) par fauchage (traitement F).

II. 2.2 Echantillonnage des adventices

La richesse spécifique de la parcelle a été mesurée, avant et après traitement, selon la méthode du tour de champ (Bassene *et al.*, 2012). L'identification des espèces et les noms taxonomiques utilisés sont issus de deux flores locales (Bossier *et al.*, 1976-2009 ; Le Bourgeois *et al.*, 1999), du logiciel AdventOI V.1.0[©] et de l'outil et de la base de données de la plate-forme 'Weed Identification and knowledge in the western Indian Ocean (WIKWIO³)'. La classification phylogénétique s'appuie sur celle de l'APG III (2009).

L'abondance des espèces a été appréciée dans chaque sous-bloc, avant et après traitement, par des mesures de biomasse par espèce. Dans chacun d'entre eux nous avons échantillonné aléatoirement 2 quadrats de 40x40cm, soit 48 quadrats de 0.16 m². Les échantillons de ces 2 quadrats ont été fusionnés, pour n'obtenir qu'un échantillon par sous-

³ <http://www.wikwio.org/>

Tableau 1 : Récapitulatif des traits retenus

	Traits	Fonctions associées	Références	Acquisition
Habitat refuge	Présence de domaties	Abri et site de pont	Walter et O'Dowd 1992 ; Cortesero <i>et al.</i> , 2000	Loupe binoculaire et Littérature
	Relief des nervures	Abri et site de pont	Karban <i>et al.</i> , 1995; Walter, 1996	Loupe binoculaire
	Densité de trichomes des feuilles (face inférieure et face supérieure)	Abri et site de pont, et Mobilité de prédation (selon densité)	Obrycki, 1986 ; Kauffman et Kennedy, 1989 ; Sutterlin et van Lenteren, 1997 ; Agrawal, 2000	Loupe binoculaire
	Type de feuille (composée et/ou à marge plus moins découpée)	Mobilité de prédation et maintien sur la plante	Cortesero <i>et al.</i> , 2000	Observation au champ
	Recouvrement	Microclimat	Norris, 2005 ; Mailloux <i>et al.</i> , 2010	Observation au champ
Habitat ressource alternative	Couleur dominante de l'inflorescence	Attractivité	Cortesero <i>et al.</i> , 2000 ; Begum <i>et al.</i> , 2004 ; Machado et Lopes, 2004	Observation au champ
	Taille de l'inflorescence	Visibilité	Goulson, 1999 ; Sivinski <i>et al.</i> , 2011	Pied à coulisse digital 10 inflorescences
	Ouverture des fleurs	Accessibilité	Tooker, 2006 ; Makrodimos <i>et al.</i> , 2008	Loupe binoculaire + Pied à coulisse digital (10 fleurs)
	Production de nectar extra-floral	Ressource nutritive supplémentaire	Cortesero <i>et al.</i> , 2000 ; Lundgren, 2009	Littérature
Réponses aux perturbations	Hauteur _{max}	Compétitivité lumière	Westoby 1998 ; Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013	Mesures au champ (20 individus matures)
	SLA	Utilisation des ressources	Westoby 1998 ; Wright <i>et al.</i> , 2004	Scanner, étuve et balance (10 à 20 feuilles)
	Masse d'une graine	Capacité de dispersion ; Etablissement des plantules	Westoby 1998 ; Weiher <i>et al.</i> 1999	Littérature
	Cycle de vie	Dispersion dans le temps et l'espace	Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013	Littérature
	Mode de dispersion	Potentiel de colonisation	Pérez-Harguindeguy <i>et al.</i> , 2013	Littérature

bloc, soit 24 échantillons. Cette méthode permet de limiter l'effet d'échantillonnage lié à la micro-hétérogénéité des communautés d'adventices. Seule la partie aérienne des individus a été prélevée. Les échantillons ont été séchés dans une étuve pendant 48h à 80°C, puis pesés avec une balance d'une précision de 10^{-2} g de sorte à obtenir une valeur de biomasse sèche par espèce dans chaque sous-bloc. Le poids sec de chaque espèce ramené à la biomasse totale de l'échantillon a permis de déterminer l'abondance relative des différentes espèces. Le premier échantillonnage a été effectué du 12 au 14 mars, trois mois après le dernier passage d'un broyeur à marteau. Il a permis d'apprécier la répartition des populations des différentes espèces recensées sur la parcelle et d'évaluer son niveau d'hétérogénéité, avant la mise en place des traitements (t0) le 19 mars.

Une seconde campagne d'échantillonnage a été réalisée entre le 19 et le 21 mai et selon le même protocole, lorsque la hauteur et la densité du couvert avaient atteint des niveaux pouvant être considérés comme ceux auxquels un producteur aurait été contraint d'intervenir, soit deux mois après traitements. Un relevé journalier de la pluviométrie et des températures (min, max et moyennes) sur la parcelle a été réalisé à l'aide d'une station automatisée (Hobo[®], Onset Computer Corporation).

II. 2.3 Notation des traits fonctionnels

Nous avons ensuite caractérisé les traits d'effet et de réponse (cf. I.3 et I.4) des espèces de l'inventaire global de la parcelle selon les recommandations de Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013).

Les 9 traits d'effet retenus sont synthétisés dans le Tableau 1. La présence de domaties, le relief des nervures, la densité de trichomes ont été déterminées par observations à la loupe binoculaire (grossissement x13 à 56, Leica EZ4[®]). Le type de feuille, le recouvrement d'un individu, la couleur et la taille des inflorescences ont été déterminés par des observations au champs. La taille de l'inflorescence correspond à la moyenne de celles de dix inflorescences prises sur dix individus par espèce. Les inflorescences de type grappe, cyme, épi, ombelle et corymbe ont été considérées comme grandes. Dans le cas des inflorescences solitaires et en capitule, elles ont été considérées grandes lorsque leur diamètre était d'au moins de 20 mm. La production de nectar extra-floral est issue de la littérature et la présence des glandes confirmée par observation sous loupe binoculaire. Les glandes nectarifères du cyathe des euphorbes n'ont pas été considérées comme produisant du nectar extra-floral car ne fournissant pas véritablement un apport en nectar supplémentaire à celui de l'inflorescence. L'ouverture des fleurs a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse digital sous

6 Ressource	6 Refuge
<p>Florale (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> Repérage (1) <ul style="list-style-type: none"> Visibilité (0,5) — Grande inflorescence (0,5) Attractivité (0,5) — Blanche ou jaune (0,5) Accessibilité (2) — Fleur ouverte (2) 	<p>Abri et site de ponte (2)</p> <ul style="list-style-type: none"> Nervure en relief (1) Forte densité de trichomes (1) <ul style="list-style-type: none"> Face Supérieure (0,5) Face Inférieure (0,5) <p>Mobilité et maintien (2)</p> <ul style="list-style-type: none"> Feuille complexe et large (1) Densité de trichomes modérée (1) <ul style="list-style-type: none"> Face Supérieure (0,5) Face Inférieure (0,5)
<p>Extra-florale (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> Production de nectar extra-floral (3) — Présence de glandes (3) 	<p>Microclimat (2)</p> <ul style="list-style-type: none"> Recouvrement (si Fort : 2, si Moyen : 1)

*La présence de domaties offre un point bonus

Figure 4 : Barème de notation

loupe binoculaire. Nous avons fixé le seuil au-delà duquel une fleur est considérée ouverte à 0.6mm grâce à des observations de fleurs visitées par des parasitoïdes (com. Le Bellec).

Nous avons mis au point un barème de notation basé sur l'intérêt et l'importance que sont donnés à ces traits dans la littérature. Ce barème permet de subdiviser les fonctions 'Refuge' et 'Ressources' pour les auxiliaires, en plusieurs sous-fonctions, lesquels sont liées à différentes combinaisons de traits. Nous avons attribué à chaque espèce un score par sous-fonction. Une sous-fonction est considérée comme pleinement fournie lorsque tous les points lui étant attribuables sont recueillis par l'espèce. La somme des scores par sous-fonctions donne la note globale de l'espèce. L'espèce est considérée comme présentant un réel intérêt pour la faune auxiliaire lorsqu'elle totalise au moins la moitié des points, i.e. 6/12 (Fig 4).

Les 6 traits de réponse retenus sont synthétisés dans le Tableau 1. La hauteur de 20 individus par espèce a été mesurée au champ. Dans le cas des lianes, nous avons considéré la longueur totale. Nous avons calculé le SLA, grâce à l'échantillonnage de 10 à 20 feuilles prises sur au moins 5 individus par espèce. La surface des feuilles a été mesurée à l'aide d'un scanner, les feuilles étant placées, sans se toucher, sur un fond blanc puis scannées en noir et blanc. L'image est ensuite traitée avec le logiciel d'imagerie numérique ImageJ® qui, après conversion binaire de l'image, identifie des objets et calcule leur surface en pixels. Une simple conversion à partir de la résolution de l'image scannée (pixels/pouces) permet de connaître la surface foliaire échantillonnée. La valeur de cette surface est ensuite divisée par le poids sec des feuilles scannées (séchage dans une étuve durant 48h à 80°C). Les masses de graines sont issues de la base de données Royal Botanic Gardens Kew Seed Information Database (SID), 2014. Le cycle de vie et le mode de dispersion sont également issus de la littérature (Bossier *et al.*, 1976-2009 ; Le Bourgeois *et al.*, 1999 ; Le Bourgeois *et al.*, 2008). Les traits manquants sont issus de publications spécifiques aux espèces concernées (voir Annexe 2).

Etant donné l'échelle d'intérêt de l'étude (i.e. locale), et la stabilité au sein d'une espèce pour les traits sélectionnés (mis à part la hauteur et le SLA), nous avons considéré la variabilité intra-spécifique de ces traits comme étant négligeable comparativement à leur variabilité interspécifique (Albert *et al.*, 2011). L'analyse des traits est donc basée sur des traits d'individu 'moyen' par espèce. Les données liées aux traits ont permis l'élaboration de fiches de reconnaissance et de caractérisation. Un exemple est présenté Annexe 3.

II. 3 Analyses des données

Les différences de quantité de biomasse ont été évaluées par des ANOVA suivi de tests de Tukey pour les quantités de biomasse totale par échantillon (car la distribution de cette variable suit une loi normale) ; et par des tests de Wilcoxon avec correction de Bonferroni pour les quantités de biomasse par espèce dans chaque échantillon (test non-paramétrique car distribution ne suivant pas une loi normale). Ces tests permettent avant traitement (t0) de révéler des effets blocs et/ou sous-blocs et éventuellement reconsidérer le découpage de la parcelle ; et après traitement (t1) de révéler des effets blocs et traitements.

Nous avons, grâce à des ACM (Analyse des Correspondances Multiples), établi des typologies fonctionnelles des espèces ; l'une basée sur leurs traits d'effets, l'autre sur leurs traits de réponse. Pour construire les ACM, nous avons regroupé certaines modalités des variables qualitatives, et avons recodé les variables quantitatives en classes, selon deux critères : contenir des effectifs comparables et garder un sens écologique. Les analyses ont été conduites avec le logiciel R© et le package FactoMineR pour les ACM.

III. Résultats

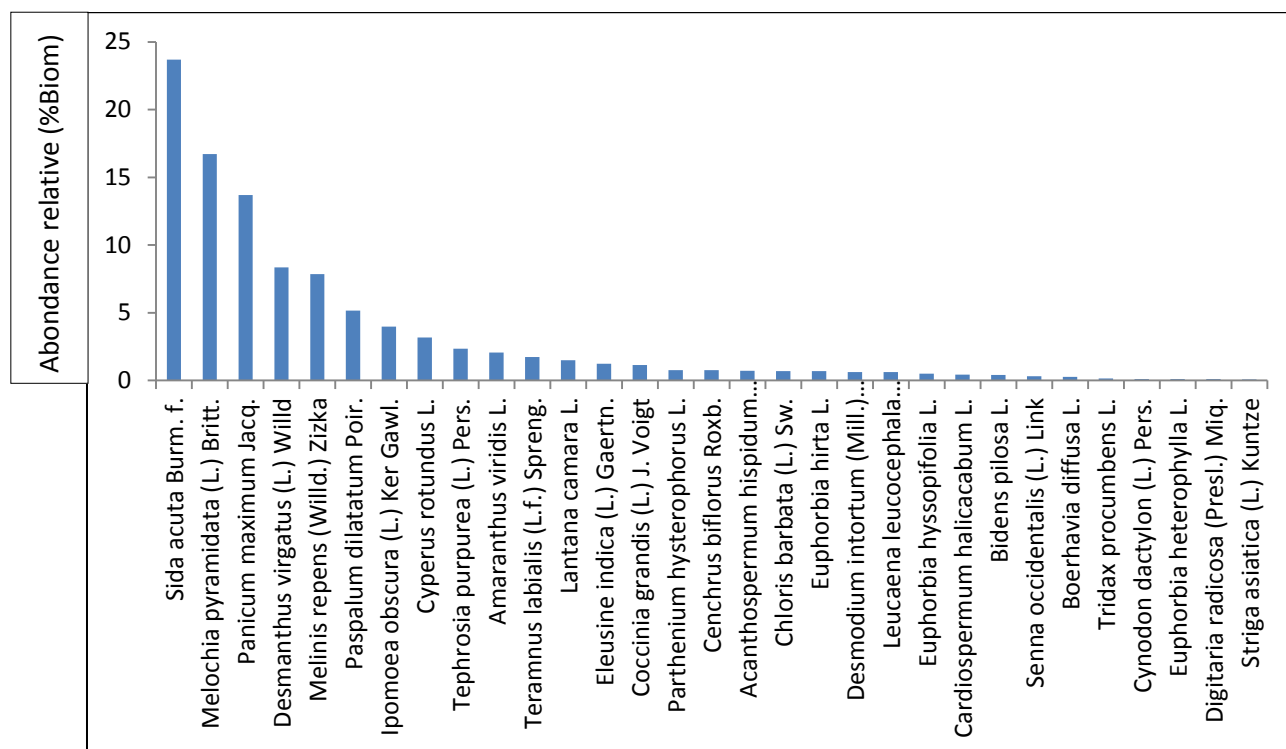


Figure 5 : Abondance relative des espèces échantillonnées à t0



Figure 6 : Couvert de *Cardiospermum halicacabum*

III.1. Communauté végétale avant traitement (t0)

A l'état initial (t0) 37 espèces ont été recensées sur la parcelle lors du tour de champ. Les deux familles comptant le plus grand nombre d'espèces sont celle des *Poaceae* (9 espèces) et celle des *Fabaceae* (6 espèces). Trente-et-une espèces sur 37 recensées lors du tour de champ ont été retrouvées lors de l'échantillonnage. *Sida acuta* Burm. f. et *Melochia pyramidata* (L.) Britt. , deux *Malvaceae*, et *Panicum maximum* Jacq. , une grande *Poaceae* érigée, contribuent respectivement à 23%, 17% et 13% de la biomasse totale échantillonnée, soit 54% (Fig. 5). Ce sont les trois espèces dominantes de la parcelle à t0. Les espèces peu représentées sont majoritaires. Finalement, seulement 12 espèces représentent 90% de la biomasse totale à t0.

A t0, les quantités de biomasse totale par échantillon ne sont pas différentes entre les différents blocs et entre les différents sous-blocs (blocs, $p=0.5873$; sous-blocs, $p=0.2826$). Les biomasses par espèce ne révèlent de différences significatives que pour une seule espèce, *Acanthospermum hispidum*, et à un seuil de 10%. Sa quantité de biomasse est plus importante dans les sous-blocs destinés à recevoir le traitement BM que dans ceux destinés à recevoir CC et H ($p=0.071$). Elle est aussi plus importante dans les sous-blocs destinés à recevoir le traitement F que dans ceux destinés à recevoir CC et H ($p=0.093$). *Acanthospermum hispidum* représente cependant moins de 1% de la biomasse totale échantillonnée à t0. En conséquence, nous considérons la communauté végétale à t0 comme homogène à l'échelle de la parcelle.

III.2. Communauté végétale après traitement (t1)

III.2.1 Richesse spécifique dans la parcelle

Durant la période séparant t0 de t1, nous avons enregistré plus de 200 mm de pluie et une température moyenne de 24°C (température moyenne mini : 20°C, maxi : 28,5°C) constituant des conditions de culture chaudes et humides caractéristiques d'un été austral. Le second tour de champ à t1 a permis de recenser à nouveau les 37 espèces de t0 plus 3 nouvelles (*Datura innoxia* Mill., *Nicandra physaloides* (L.) Gaertn. et *Commelina benghalensis* L.). Ces espèces nouvelles ont été observées uniquement dans les sous-blocs du traitement CC. Trente-quatre espèces sur 40 recensées lors du tour de champ à t1 ont été retrouvées lors de l'échantillonnage. Les espèces peu représentées sont toujours majoritaires. Nous avons observés au moins un individu ayant fructifié dans les quatre traitements pour les 40 espèces recensées. La banque de graines a donc été réalimentée par toutes les espèces mais certainement dans des quantités plus ou moins importantes. Les patrons de distribution d'abondance des espèces sont, dans les quatre traitements, similaires à celui observé à t0.

Tableau 2 : Traits, variables initiales et recodage pour les ACM

Traits	Variables initiales	Variables ACM n = nombre d'espèces par classes
Habitat refuge	Présence de domaties	Retirée
	Relief des nervures	Oui, n=10 / Non, n=30
	Densité de trichomes des feuilles (face supérieure et face inférieure)	Face sup : Nulle, n=20 Faible, n=12 Modérée à Forte, n=8 Face inf : Nulle, n=19 Faible, n=10 Modérée à Forte, n=11
	Type de feuille (composée et/ou à marge plus moins découpée)	Complexe large, n=9 Complexe étroite, n=7 Simple large, n=9 Simple étroite, n=15
	Recouvrement	Faible, n=26 Moyen à Fort, n=14
Habitat ressource alternative	Couleur dominante de l'inflorescence	Blanc / Jaune / Rouge / Violet / Verdâtre / Orange / Rouge / Bleu
	Taille de l'inflorescence	Grande n=26 / Petite, n=14
	Ouverture des fleurs	Oui, n=18 / Non, n=22
	Production de nectar extra-floral	Oui, n=6 / Non, n=34 (variable supplémentaire)
Réponses aux perturbations	Hauteur _{max}	x > 1 m : Grande, n=12 1 m < x < 50 cm : Moyenne, n=13 x < 50 cm : Petite ; n=15
	SLA	x > 25 mm ² mg ⁻¹ : Fort, n=10 25 < x < 15 mm ² mg ⁻¹ : Moyen, n=21 x < 15 mm ² mg ⁻¹ : Faible, n=9
	Masse d'une graine	x > 3 mg : Grosse, n= 7 3 < x < 0.2 mg : Moyenne, n=13 x < 0.2 mg : Petite, n= 14
	Cycle de vie	Pérenne Vivace Annuelle Pérenne et vivace : Long, n=15 Annuelle : Court, n=25
	Mode de dispersion	Anémochorie, n=12 Epizoochorie, Endozoochorie, n=12 Autochorie, Myrmécochorie, Hydrochorie, n=16

III.2.2. Effet des différentes stratégies de gestion de l'enherbement

A t1, la biomasse totale par échantillon est équivalente d'un traitement à l'autre et d'un bloc à l'autre (traitement, $p=0.4903$; bloc, $p=0.1827$). Ce qui signifie que deux mois après les perturbations engendrées par les différents traitements, aucun de ces traitements n'a généré de communauté végétale dont la quantité de biomasse totale est plus ou moins élevée que celle du témoin BM. Au seuil de 1%, la quantité de biomasse de *Cardiospermum halicacabum* est plus importante dans les échantillons issus des sous-blocs CC que dans ceux des autres traitements ($p=0.0095$). Le passage du cover-crop a significativement favorisé cette espèce comparativement aux autres traitements comme illustré par la photo (Fig 6). Au seuil de 10%, il y a un effet significatif des traitements sur la biomasse de trois autres espèces. La biomasse de *Melochia pyramidata* est moins importante dans les échantillons issus du traitement CC comparativement à ceux issus du témoin BM et des deux autres traitements ($p=0.057$). La biomasse de *Paspalum dilatatum* est moins importante dans les échantillons issus du traitement CC comparativement à ceux issus du témoin BM ($p=0.085$), et est également moins importante dans les échantillons issus du traitement H comparativement à ceux issus du témoin BM ($p=0.091$). La biomasse de *Desmanthus virgatus* est plus importante dans les échantillons issus du traitement F comparativement à ceux issus des traitements CC et H ($p=0.085$).

III.3. Typologie fonctionnelle des adventices échantillonnées

III.3.1. Traits d'effets sur la faune auxiliaire

III.3.1.1 Typologie issue de l'ACM

Les modalités des variables utilisées dans cette ACM sont synthétisées dans le Tableau 2. La première composante principale explique 20.05% de l'inertie totale, la seconde en explique 15.65%. La première est caractérisée par l'ouverture des fleurs ($R^2=0.73$, $p<0.001$), la morphologie foliaire ($R^2=0.65$, $p<0.001$), la couleur des fleurs ($R^2=0.47$, $p<0.001$), le relief des nervures ($R^2=0.39$, $p<0.001$) et le recouvrement ($R^2=0.12$, $p<0.05$). La variable 'production de nectar extra-floral' est également liée à cet axe ($R^2=0.23$, $p<0.01$). La seconde composante principale est caractérisée par la densité de trichomes de la face inférieure des feuilles ($R^2=0.84$, $p<0.001$), de la face supérieure des feuilles ($R^2=0.66$, $p<0.001$), par la taille de l'inflorescence ($R^2=0.20$, $p<0.01$) et la couleur des fleurs ($R^2=0.10$, $p<0.05$). Les modalités qui ont le plus contribué à la construction des axes permettent de discriminer des groupes d'espèces. La totalité des variables étant significativement corrélées au moins à l'un des deux premiers axes, nous ne commenterons que le premier plan factoriel.

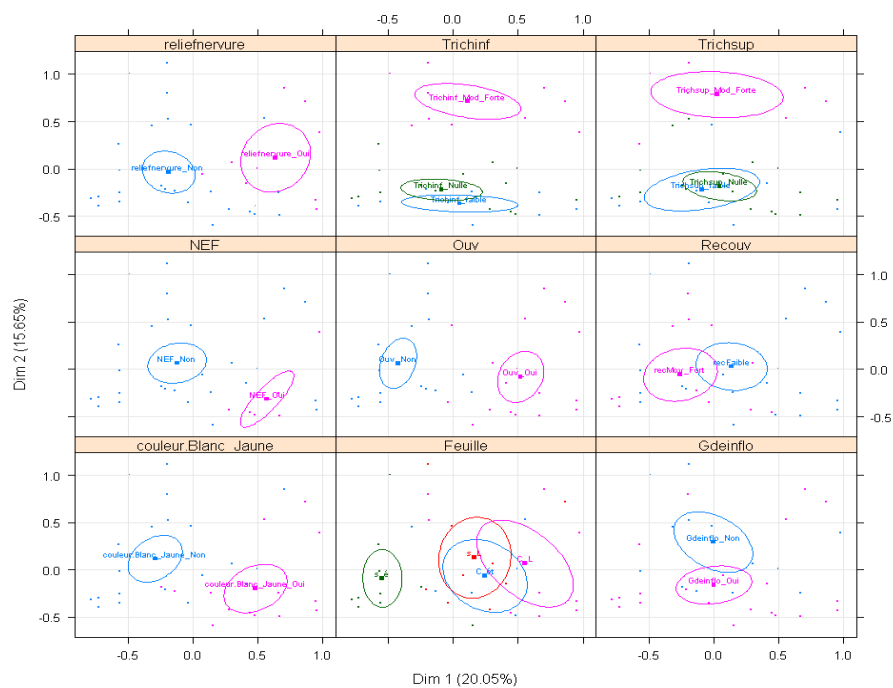


Figure 7 : Ellipses de confiance des traits d'effet (premier plan factoriel)

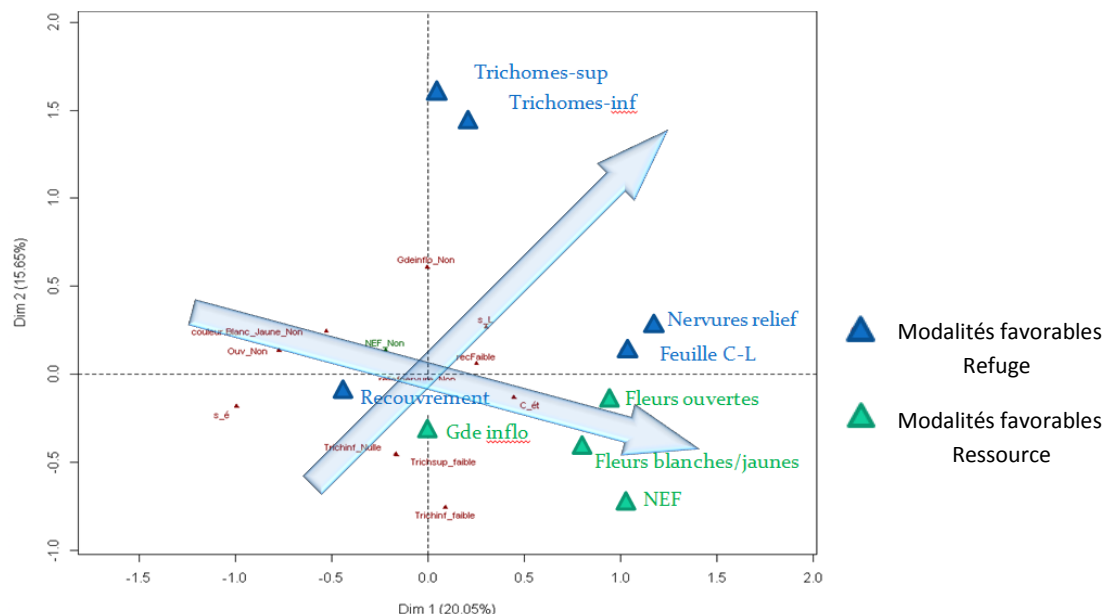


Figure 8 : Axes de spécialisation 'Ressource et 'Refuge' (premier plan factoriel)

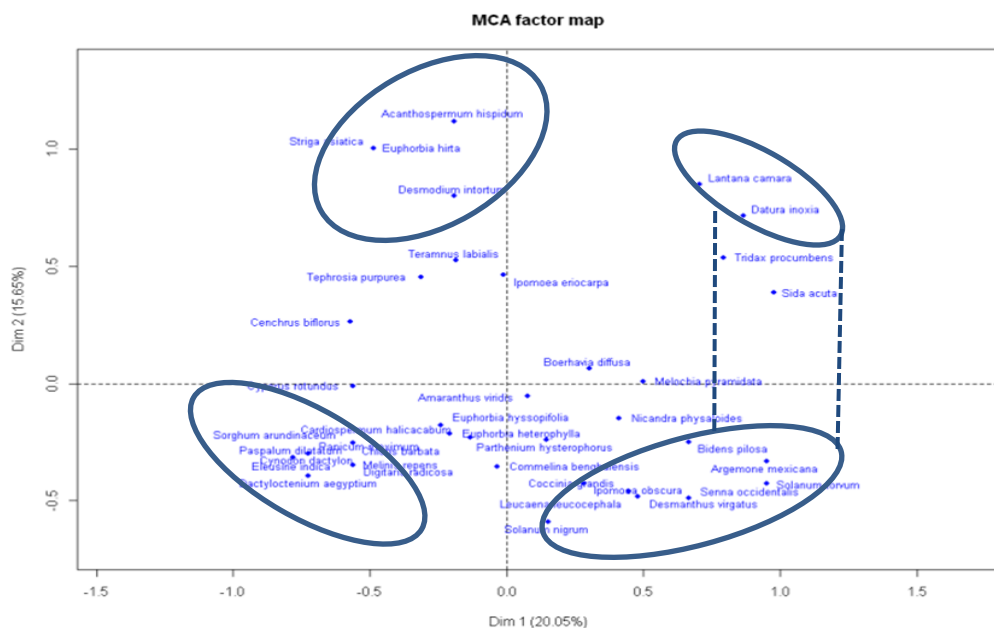


Figure 9 : Groupes d'espèces porteuses de traits 'Refuge' et 'Ressource' (premier plan factoriel)

Le premier axe oppose principalement les espèces dont les fleurs sont attractives (couleur jaune ou blanche) et accessibles (ouvertes), certaines produisent du nectar extra-floral (Fig 7), à celles dont ce n'est pas le cas. Ces espèces ont aussi des feuilles facilitant la bonne mobilité de prédation et le maintien des auxiliaires sur la plante (feuilles larges, composées et/ou à marge découpée). Elles offrent également un abri et des sites de ponte (nervures en relief). Ce premier axe oppose aussi, dans une moindre mesure, les espèces à faible recouvrement à celles moyennement à fortement couvrantes (essentiellement des *Poaceae* et des lianes). Le second axe oppose principalement les espèces dont la densité de trichomes des faces supérieure et inférieure est modérée à forte, à celles dont la densité est faible à nulle ; et dans une moindre mesure les espèces à grande inflorescence aux espèces à petite inflorescence. Cette analyse permet de définir deux axes de spécialisation, l'un traduisant un gradient de qualité de la fonction 'Refuge' et l'autre traduisant un gradient de la qualité de la fonction 'Ressource' (Fig 8). Ainsi nous pouvons définir 4 groupes se situant aux extrémités des deux axes, et dont les espèces sont porteuses de traits favorables ou défavorables vis-à-vis des fonctions 'Refuge' et 'Ressource'. Les espèces situées entre les extrémités favorables des deux axes sont porteuses d'une combinaison de traits favorables aux deux fonctions (i.e. *Sida acuta* et *Tridax procubens*) (Fig 9).

III.3.1.2 Typologie issue des scores

La notation des traits sur l'échelle qualitative (traits 'Ressource' et traits 'Refuge') a permis de classer les espèces selon leur intérêt vis-à-vis des fonctions recherchées (Tableau 3). Selon notre règle de décision (espèce ayant un score supérieur ou égal à 6), seules 9 espèces ont été sélectionnées : *Senna occidentalis*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea obscura*, *Coccinia grandis*, *Sida acuta*, *Desmanthus virgatus*, *Lantana camara*, *Tridax procubens* et *Leucaena leucocephala*. Cette méthode de notation permet d'approfondir les résultats de l'ACM grâce à une identification plus précise des sous-fonctions de chacune des espèces.

La quantité de biomasse totale par échantillon n'étant pas significativement différente entre les traitements (cf. III.2.2.), et considérant l'abondance relative d'une espèce comme le pourcentage de biomasse qu'elle représente dans une communauté : les valeurs des quantités de biomasse par espèce et par échantillon peuvent donc être considérées comme celles de leur abondance relative par échantillon. Ainsi, en nous référant à l'hypothèse du mass-ratio, et en considérant le fait d'avoir obtenu tous les points attribuables dans une sous-fonction comme étant un trait : nous avons testé l'effet des traitements sur la somme des quantités de biomasse des espèces offrant un sous-fonction complète. Au seuil de 10%, il y a un effet significatif des

Tableau 3 : Scores des espèces par sous-fonctions et scores globaux.

(Seules les espèces ayant obtenu tous les points dans au moins 1 sous-fonctions sont présentées)

Espèce	Ressource			Refuge		SCORE
	R.F	R.exF	Mob	Abri Ponte	Micro Climat	
<i>Senna occidentalis</i>	Oui 3	Oui 3	1	0	0	7
<i>Bidens pilosa</i>	Oui 3	Oui 3	1	0	0	7
<i>Ipomoea obscura</i>	Oui 3	Oui 3	0	0	Oui 2	8 + domatie
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	0,5	0	0	0	Oui 2	2,5
<i>Coccinia grandis</i>	Oui 3	Oui 3	1	0	Oui 2	9
<i>Sida acuta</i>	Oui 3	Oui 3	1,5	1	0	8.5
<i>Desmanthus virgatus</i>	Oui 3	Oui 3	0	0	0	6
<i>Eleusine indica</i>	0,5	0	0	0	Oui 2	2,5
<i>Teramnus labialis</i>	0	0	1,5	0	Oui 2	3,5
<i>Lantana camara</i>	2,5	0	Oui 2	1,5	0	6
<i>Paspalum dilatatum</i>	0,5	0	0	0	Oui 2	2,5
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	2	0	0,5	0	Oui 2	4,5
<i>Argemone mexicana</i>	Oui 3	0	1	1	0	5
<i>Solanum torvum</i>	Oui 3	0	1	1	0	5
<i>Cynodon dactylon</i>	0,5	0	0	0	Oui 2	2,5
<i>Solanum nigrum</i>	Oui 3	0	0	0	0	3
<i>Leucaena leucocephala</i>	Oui 3	Oui 3	0	0	0	6
<i>Datura inoxia</i>	Oui 3	0	0	Oui 2	0	5
<i>Tridax procumbens</i>	Oui 3	0	0	Oui 2	1	6

traitements sur la biomasse des espèces offrant le maintien au sol d'un microclimat favorable. La quantité de biomasse de ces espèces est plus importantes pour le traitement CC par rapport au traitement H (Tukey, $p=0.056$). La quantité de biomasse de *Cardiospermum halicacabum* (i.e. significativement plus importante dans les échantillons issus du traitement CC) en est en grande partie responsable. Qui plus est, les échantillons issus du traitement CC contenaient une grande quantité de biomasse d'*Ipomoea eriocarpa*.

III.3.1.3. Traits de réponse aux perturbations de la flore adventice

Les modalités des variables utilisées dans l'ACM sont synthétisées dans le Tableau 2. La première composante principale explique 22.22% de l'inertie totale, la seconde en explique 18.15%. La première est caractérisée par la hauteur ($R^2= 0.51$, $p<0.001$), le SLA ($R^2=0.44$, $p<0.001$), le mode de dispersion ($R^2=0.42$, $p<0.001$), la durée de vie ($R^2=0.34$, $p<0.001$) et la masse de graine ($R^2=0.29$, $p<0.05$). Toutes les variables sont significativement corrélées au premier axe. Le seconde composante principale est caractérisé par le SLA ($R^2=0.60$, $p<0.001$), le mode de dispersion ($R^2=0.44$, $p<0.001$), la hauteur ($R^2=0.31$, $p<0.05$) et la masse de graine ($R^2=0.28$, $p<0.05$). La totalité des variables étant significativement corrélées aux deux premiers axes (hormis la durée de vie corrélée qu'au premier) nous ne commenterons que le premier plan factoriel. Les coordonnées des espèces sur ces deux axes représentent leur stratégie écologique. Le premier axe oppose principalement les espèces de taille petite à moyenne, à durée de vie courte et produisant de petites graines dispersées par le vent ou sans assistance (i.e. les *Poaceae*, les euphorbes et autres petites dicotylédones) aux espèces de grande taille à durée de vie longue et produisant de plus grosses graines dispersées par les animaux, certaines par le vent (i.e. les lianes, les grandes dicotylédones et les deux grandes *Poaceae* : *Panicum maximum* et *Melinis repens*). Le second axe oppose principalement les espèces dont le SLA est faible (stratégie de ressource de type 'conservation') à celles dont le SLA est fort (stratégie de ressource de type 'acquisition') (Fig 10).

L'ACM permet de distinguer trois groupes d'espèces ayant des stratégies écologiques similaires (Fig 11). Groupe 1 : des espèces de petites tailles, à SLA moyen, à durée de vie courte et produisant de petites graines dispersées par le vent ou sans assistance. Groupe 2 : des espèces de grandes tailles, à faible SLA, à durée de vie longue et produisant de grosses graines dispersées principalement par les animaux, parfois par le vent. Groupe 3 : des espèces de taille moyenne, à fort SLA, à durée de vie longue et produisant des graines moyennes à grosses dispersées principalement par les animaux.

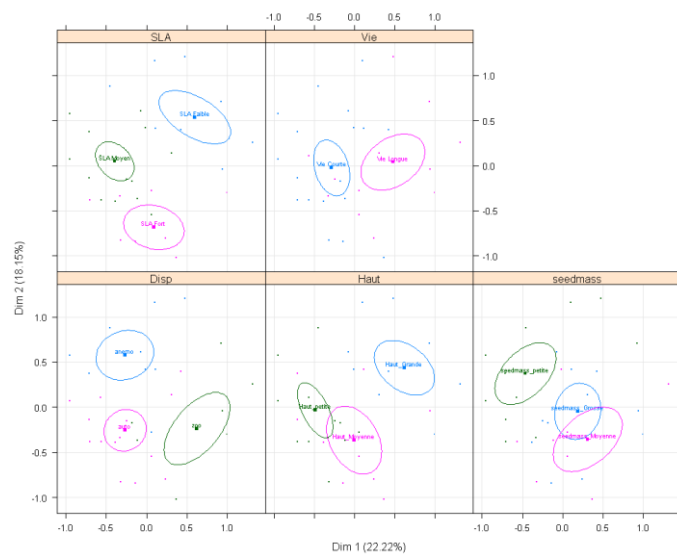


Figure 10 : Ellipses de confiance des traits de réponse (premier plan factoriel)

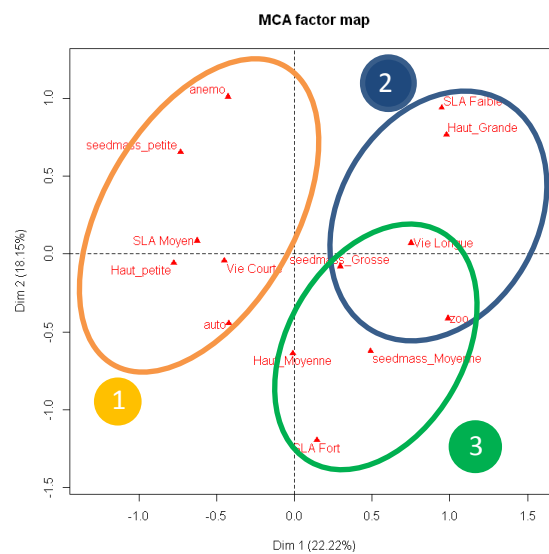


Figure 11 : Groupes d'espèces ayant des stratégies écologiques similaires (premier plan factoriel)

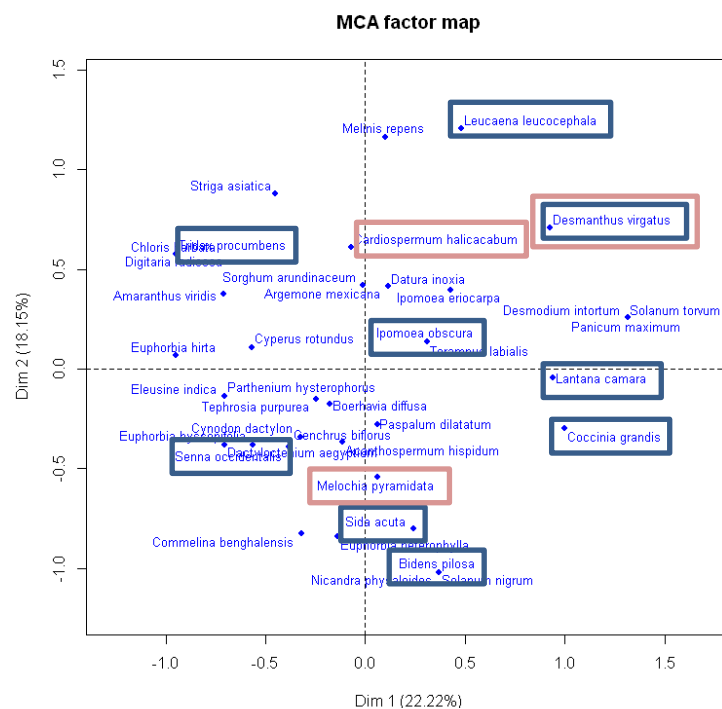


Figure 12 : Projection des espèces (premier plan factoriel). En bleu les espèces ayant les scores les plus élevés. En rouge, les espèces ayant répondu aux traitements.

La Figure 12 permet de mettre en évidence les espèces présentant les scores en traits favorables aux auxiliaires les plus élevés et celles pour lesquelles un effet significatif des traitements sur leur quantité de biomasse a été détecté au seuil de 10%. La majorité de ces espèces mettent en œuvre les stratégies écologiques associées aux groupes 2 et 3. *Melochia pyramidata* et *Paspalum dilatatum* du groupe 3 ont des stratégies écologiques très proches et ont répondu similairement aux traitements (i.e. moins abondant dans les sous-blocs CC que dans les sous-blocs BM). *Cardiospermum halicacabum* et *Desmanthus virgatus* du groupe 2 ont eux aussi des stratégies proches, mais le premier a été plus abondant dans CC que dans les autres traitements, tandis que l'autre l'était moins. Un lien entre stratégie écologique et réponse aux différentes perturbations peut difficilement être établi à ce stade de l'expérimentation.

IV. Discussion

IV.1. Effet des pratiques testées sur la communauté adventice

Les pratiques alternatives testées dans notre étude n'ont eu, à l'échelle de la parcelle, que très peu d'effet sur la richesse spécifique et l'abondance des espèces. Le pas de temps entre deux perturbations dans les systèmes de culture agrumicoles est relativement court. Ces agro-systèmes sont donc peu propices à la dominance d'espèces compétitrices, les espèces dispersives et rudérales y sont favorisées, et on y observe un grand nombre d'espèces peu représentées.

L'hypothèse qui nous semble la plus probable pour expliquer le maintien de la diversité spécifique et le grand nombre d'espèces peu représentées sur la parcelle est d'une part, le rôle prépondérant de l'apport de nouveaux individus depuis la métacommunauté (immigration via la dispersion) et d'autre part, celui d'une mobilisation plus ou moins importante de la banque de graines après perturbation.

Le traitement associant un travail superficiel du sol (passage d'un cover-crop, traitement CC) semble confirmer cette hypothèse. En effet, cette pratique a révélé le plus de contraste avec les autres traitements, et la profondeur de travail du sol (entre 10 et 15 cm dans notre cas) a été un facteur déterminant pour les mouvements de graines depuis l'horizon du sol travaillé (Mohler et Galford 1997; Roger-Estrade *et al.* 2006). Ce travail du sol par le cover-crop a en effet accentué le contraste avec les autres traitements en remobilisant un stock de semences qualitativement et quantitativement différent de celui des autres traitements. Par ailleurs, plus la forme d'une graine s'approche de celle d'une sphère, plus la graine a tendance à être enterrée dans le sol (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Les graines de *Cardiospermum halicacabum* sont parfaitement sphériques, ce qui pourrait expliquer une remontée massive de ces graines par le passage du cover-crop.

La faculté à la repousse après destruction de la majeure partie de sa biomasse aérienne est, pour une plante, un attribut considérablement important pour sa persistance dans un écosystème régulièrement perturbé (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Nous avons constaté dans les échantillons BM et F (traitements broyeur à marteau et fauche), que la majorité des individus de certaines espèces n'étaient pas des plantules, mais des individus ayant émis des rejets épïcormiques (e.g. *Sida acuta*, *Melochia pyramidata*, *Desmanthus virgatus*). Ce qui pourrait expliquer la quantité de biomasse de *Desmanthus virgatus* plus importante dans les échantillons F (traitement fauche) que dans les échantillons CC et H (traitement herbicide). Par ailleurs, *Paspalum dilatatum* ayant la capacité à se multiplier par voie végétative (Le Bourgeois *et al.*, 1999), il est probable qu'elle lui ait conféré un atout expliquant sa plus grande abondance dans les échantillons BM.



Figure 13 : Glande nectarifère de *Desmanthus virgatus* et amateurs de nectar

IV.2. Quels traits rechercher pour favoriser les auxiliaires ?

Cette étude a été menée dans un agro-écosystème donné, un élargissement à d'autres sites permettrait sûrement d'identifier d'autres espèces d'intérêt. Par ailleurs, les traits liés au repérage des ressources en nectar et pollen que nous avons retenus dans notre étude, sont uniquement basés sur leur potentiel à offrir des indices visuels aux auxiliaires. Or, les indices olfactifs qu'émettent les plantes sont aussi d'une grande importance (Cortesoro *et al.*, 2000). Il se peut que des espèces dont les inflorescences ont été considérées comme difficilement repérables, le soient parfaitement grâce aux composés volatils qu'elles émettent. Par ailleurs deux traits affectant l'efficacité des auxiliaires n'ont pas été considérés du fait de la difficulté à leur attribuer le caractère favorable ou défavorable : les trichomes glandulaires et la cire épicuticulaire. Les trichomes glandulaires peuvent sécréter des substances toxiques pour les auxiliaires (Kauffman et Kennedy, 1989) et réduire leur mobilité (Obrycki and Tauber, 1984). Parmi les espèces que nous avons jugé intéressantes, certaines en possèdent (e.g. *Tridax procubens*, *Ipomoea obscura* (Adedeji et Jewoola, 2008 ; Folorunso, 2013)). Cependant certains auxiliaires peuvent tirer parti de ces trichomes glandulaires en se nourrissant de proies piégées par ces derniers (Romero *et al.*, 2008). Des feuilles dont la surface est couverte de cire peuvent les rendre trop glissantes pour certains auxiliaires (e.g. *Coccinellidae*) (Grevstad et Klepetka, 1992), alors qu'elles permettront à certains autres, ayant une meilleure accroche (e.g. *Chrisopidae*), d'augmenter leur rapidité de déplacement (Eigenbrode *et al.*, 1995).

L'évaluation qualitative de l'intérêt des traits vis-à-vis des auxiliaires est théorique et basé sur la littérature. Cependant certaines espèces, parmi celles ayant obtenus les scores les plus élevés, sont connus pour être des plantes hôtes de certains auxiliaires (e.g. *Bidens pilosa*, *Lantana camara*, *Sida acuta*, *Senna occidentalis*) (Walter, 1999 ; Steiner *et al.*, 2003 ; De Moraes, 2004 ; Ferla *et al.*, 2007). Nous avons, de plus, observé des *Coccinellidae* se nourrir sur les glandes nectarifères des rachis de *Desmanthus virgatus* et de *Leucaena leucocephala* (Fig 13). En revanche, deux espèces ayant obtenues des scores parmi les plus élevés (*Coccinia grandis* et *Ipomoea obscura*) sont des lianes pérennes très envahissantes. Il paraît délicat de proposer aux producteurs de favoriser ces espèces dans leur parcelle, car elles peuvent rapidement entrer en compétition avec les arbres, les recouvrir et les étouffer. Il est donc important de tenir compte du niveau de compétition que les espèces d'intérêt peuvent entretenir avec la culture de rente. Il est enfin crucial d'évaluer le caractère attractif des espèces retenues vis-à-vis des ravageurs (e.g. *Coccinia grandis* et *Ipomoea obscura* sont aussi connus pour héberger des ravageurs (Mani, 2010)).

La typologie des espèces que nous avons établie, a fait ressortir deux axes de spécialisations (i.e. fonctions ‘Ressource et ‘Refuge’) relativement indépendants. Il semble donc difficile de trouver des espèces qui permettraient d’offrir les deux fonctions à la fois. *Sida acuta* et *Tridax procubens* sont porteuses de traits permettant d’offrir un bon compromis. Elles seraient donc de bonnes candidates pour soutenir la lutte biologique en verger d’agrumes. Reste à déterminer comment les favoriser.

IV.3. Les espèces et leurs stratégies écologiques

Nous avons pu distinguer trois stratégies écologiques, lesquelles sont caractérisées par différentes combinaisons de stratégies reproductives et de croissances végétatives. *Desmanthus virgatus*, et *Leucaena leucocephala*, deux espèces arbustives ligneuses, ont des SLA faibles traduisant une stratégie de croissance relativement lente (Westoby, 1998). Il semble donc compliqué de parvenir à les favoriser dans un milieu aussi régulièrement perturbé que les enherbements. Les laisser devenir arbustives poserait aussi des problèmes de praticité lors du travail des producteurs sur leur parcelle. Elles pourraient cependant être favorisées en bordures. *Sida acuta*, *Bidens pilosa*, et *Tridax procubens* semblent être plus intéressantes à favoriser dans les inter-rangs car plus à même de se maintenir dans un environnement régulièrement perturbé grâce à des SLA élevés (i.e. croissance rapide) et un cycle de vie court. Elles pourraient donc avoir le temps d’exprimer pleinement leurs traits favorables et de réalimenter la banque de graines entre deux perturbations. Etant plutôt basses, elles ne constitueraient pas de gêne majeure pour les producteurs. Enfin il pourrait être intéressant de considérer la capacité de repousse des espèces et le temps de dormance de leurs graines. Ces traits peuvent avoir une importance vis-à-vis de la capacité d’une espèce à se maintenir dans un milieu soumis à un fort régime de perturbation (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013) comme c’est le cas des enherbements des vergers d’agrumes. A titre d’exemple, *Datura innoxia*, une espèce ayant été observée uniquement suite au passage du cover-crop, produit des graines pouvant rester plusieurs dizaines d’années en dormance (Le Bourgeois *et al.*, 1999).

V. Conclusion

V. Conclusion

Les stratégies alternatives de gestion de l'enherbement que nous avons testé montrent peu de contraste quant à leur effet sur la richesse spécifique, l'abondance des espèces, et donc sur la diversité fonctionnelle sous-jacente. Les filtres supposés différents qu'ont exercés ces pratiques sur la communauté adventice initiale se sont avérés peu déterminants. Notre étude a été menée dans un contexte écologique précis alors que les conditions de culture des agrumes pourraient être plus diversifiées compte de la très grande diversité des conditions environnementales de l'île de la Réunion. Cette étude mérite donc d'être étendue à un plus grand nombre de site d'expérimentation mais aussi et surtout d'être répétée dans le temps. Aussi, l'étude a été réalisée dans un jeune verger au sein duquel les interactions entre plantes cultivées et flore adventices ont été considérées négligeables. Cependant, il existe une compétition racinaire entre les jeunes arbres et les espèces herbacées, dont les racines explorent les mêmes horizons du sol. Qui plus est, lorsque les arbres seront suffisamment développés (i.e. hauteur des arbres, largeur de la frondaison), ils influenceront probablement la réponse fonctionnelle des espèces qui composent les enherbements (Gaba *et al.*, 2013). C'est pourquoi les stratégies écologiques des espèces leur permettant de se maintenir ou non dans la communauté doivent être plus finement identifiées en fonction du type de perturbation et des conditions environnementales. Ceci permettra de vérifier la stabilité des espèces dans le temps et dans l'espace selon différents contextes culturels. Ainsi, reconduire cette étude, en la couplant à un suivi des populations d'auxiliaires et ravageurs, et ce dans ces différents contextes, permettrait d'obtenir une vision plus complète des interactions adventices/auxiliaires/ravageurs en lien avec un changement de stratégie de gestion de l'enherbement. Ceci permettrait d'évaluer si la seule manipulation de la flore adventice présente dans les vergers par les pratiques culturales permettrait de soutenir la lutte biologique contre les bioagresseurs, ou s'il conviendrait d'introduire de la diversité végétale fonctionnelle dans ces agro-systèmes en vue de développer de véritables systèmes de culture agroécologique.

Bibliographie :

- Adedeji, O., & Jewoola, O. A. (2008). Importance of leaf epidermal characters in the Asteraceae family. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36(2), 7-16.
- Agrawal, A.A., (2000). Mechanisms, ecological consequences and agricultural implications of tritrophic interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 3, 329-335.
- Albert, C. H., Grassein, F., Schurr, F. M., Vieilledent, G., et Violle, C. (2011). When and how should intraspecific variability be considered in trait-based plant ecology?. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 13(3), 217-225.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 19-31.
- APG III. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 105–121.
- Bassene, C., Mbaye, M.S., Kane, A., Diangar, S. et Noba K., 2012. Flore adventice du maïs (*Zea mays* L.) dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal) : structure et nuisibilité des espèces. *Journal of Applied Bioscience*, 59, 4307-4320.
- Begum, M., Gurr, G. M., Wratten, S. D., et Nicol, H. I. (2004). Flower color affects tri-trophic-level biocontrol interactions. *Biological Control*, 30(3), 584-590.
- Bolognesi C., et Merlo F.D. (2011). Pesticides: Human Health Effects. In: *Encyclopedia of Environmental Health* (éd. Editor-in-Chief: Jerome O. Nriagu). Elsevier, Burlington, 438-453.
- Bosser, J., Cadet, TH., Gueho, J. et Marais, W., 1976-2009. Flore des Mascareignes. 25 tomes parus. IRD (Paris), The Sugar industry Research Institute (Maurice) et The Royal Botanic Gardens (Royaume-Uni).
- Burrell, R. W., et McCormick, W. J. (1964). Typhlodromus and Amblyseius (Acarina: Phytoseiidae) as predators on orchard mites. *Annals of the Entomological Society of America*, 57(4), 483-487.

- Cortesero, A. M., Stapel, J. O., et Lewis, W. J. (2000). Understanding and manipulating plant attributes to enhance biological control. *Biological control*, 17(1), 35-49.
- de Bello F., Lavorel S., Di'az S., Harrington R., Cornelissen J.H.C., Bardgett R.D., Berg M.P., Cipriotti P., Feld C.K., Hering D., Martins da Silva P., Potts S.G., Sandin L., Sousa J.P., Storkey J., Wardle D.A., et Harrison P.A. (2010) Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity Conservation*, 19(10), 2873-2893.
- De Moraes, G. J., Lopes, P. C., et Fernando, L. C. P. (2004). Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) of coconut growing areas in Sri Lanka, with descriptions of three new species. *J Acarol Soc Jpn*, 13(2), 141-160.
- Díaz, S., et Cabido, M. (1997). Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of vegetation science*, 8(4), 463-474.
- Díaz, S., et Cabido, M. (2001). Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(11), 646-655.
- Dorel, M., Tixier, P., Dural, D., et Zanoletti, S. (2011). Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière. *Innovations Agronomiques*, 16, 1-11.
- Eigenbrode, S. D., Moodie, S., et Castagnola, T. (1995). Predators mediate host–plant resistance to a phytophagous pest in cabbage with glossy leaf wax. *Entomol. Exp. Appl.* 77, 335–342.
- Etienne, J., et Vilardebo, A. (1978). Notes sur les principaux ravageurs des agrumes de l'île de la Réunion. *Fruits*, 33, 873-876.
- Ferla, N. J., Marchetti, M. M., & Gonçalves, D. (2007). Ácaros predadores (Acari) associados à cultura do morango (*Fragaria* sp., Rosaceae) e plantas próximas no Estado do Rio Grande do Sul. *Biota Neotropica*, 7(2), 1-8.
- Floch, C., Chevremont, A. C., Joanico, K., Capowiez, Y., et Crique, S. (2011). Indicators of pesticide contamination: Soil enzyme compared to functional diversity of bacterial communities via Biolog® Ecoplates. *European Journal of Soil Biology*, 47(4), 256-263.

- Folorunso, A. E. (2013). Taxonomic Evaluation of Fifteen Species of *Ipomoea* L.(Convolvulaceae) from South-Western Nigeria using Foliar Micromorphological Characters. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(2).
- Gaba, S., Fried, G., Kazakou, E., Chauvel, B., et Navas, M. L. (2013). Agroecological weed control using a functional approach: a review of cropping systems diversity. *Agronomy for sustainable development*, 34(1), 103-119.
- Goulson, D. (1999). Foraging strategies of insects for gathering nectar and pollen, and implications for plant ecology and evolution. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2(2), 185-209.
- Grime, J. P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86(6), 902-910.
- Gurr, G. M., Van Emden, H. F., et Wratten, S. D. (1998). Habitat manipulation and natural enemy efficiency: implications for the control of pests. *Conservation biological control*, 155, 183.
- Gurr, G. M., et Wratten, S. D. (1999). FORUM'Integrated biological control': A proposal for enhancing success in biological control. *International Journal of pest management*, 45(2), 81-84.
- Grevstad, F. S., et Klepetka, B. W. (1992). The influence of plant architecture on the foraging efficiencies of a suite of ladybird beetles feeding on aphids. *Oecologia* 92, 399–404.
- Jannoyer-Lesueur M., Cattan P., Monti D., Saison C., Voltz M., Woignier T., et Cabidoche Y.M. (2012). Chlordécone aux Antilles: évolution des systèmes de culture et leur incidence sur la dispersion de la pollution. *Agronomie, environnement et sociétés*, 2(1), 45-58.
- Keddy, P. A. (1992). Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 3(2), 157-164.
- Karban, R., English-Loeb, G., Walker, M. A., et Thaler, J. (1995). Abundance of phytoseiid mites on *Vitis* species: effects of leaf hairs, domatia, prey abundance and plant phylogeny. *Experimental & applied acarology*, 19(4), 189-197.

- Kauffman, W. C., et Kennedy, G. G. (1989). Relationship between trichome density in tomato and parasitism of *Heliothis* spp.(Lepidoptera: Noctuidae) eggs by *Trichogramma* spp.(Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environmental Entomology*, 18(4), 698-704.
- Landau-Ossondo, M., Rabia, N., Jos-Pelage, J., Marquet, L. M., Isidore, Y., Saint-Aimé, C., Martin, M., Irigaray, P., et Belpomme, D. (2009). Why pesticides could be a common cause of prostate and breast cancers in the French Caribbean Island, Martinique. An overview on key mechanisms of pesticide-induced cancer. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 63(6), 383-395.
- Landis, D. A., Wratten, S. D., et Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology*, 45(1), 175-201.
- Lavorel, S. (2013). Plant functional effects on ecosystem services. *Journal of Ecology*, 101(1), 4-8.
- Lavorel, S., et Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16(5), 545-556.
- Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J., et Forbes, T. D. A. (1997). Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology & Evolution*, 12(12), 474-478.
- Le Bellec F., Vélú A., Le Squin S., et Michels T. (2013). Utilisation de l'indicateur I-PHY comme outil d'aide à la décision en verger d'agrumes à la Réunion - Le cas de la lambda-cyhalothrine. *Innovations Agronomiques* 31, 61-73.
- Le Bourgeois T., Jeuffrault, E. et Fabrigoule, S., 1999. *AdvenRun*, Principales mauvaises herbes de La Réunion. Réunion : CIRAD– Service de la Protection des Végétaux. 124 p.
- Le Bourgeois, T., Carrara, A., Dodet, M., Dogley, W., Gaungoo, A., Grard, P., Ibrahim, Y., Jeuffrault, E., Lebreton, G., Poilecot, P., Prosperi, J., Randriamampianina, J.A., Andrianaiivo, A.P., et Théveny, F. 2008. *Advent-OI : Principales adventices des îles du sud-ouest de l'Océan Indien.V.1.0*. In Cirad [ed.]. Cirad, Montpellier, France.

- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.P., et Trommetter, M. (2008). Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France).
- Lundgren, J. G. (2009). Nutritional aspects of non-prey foods in the life histories of predaceous Coccinellidae. *Biological Control*, 51(2), 294-305.
- Machado, I. C., et Lopes, A. V. (2004). Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Annals of Botany*, 94(3), 365-376.
- Mailloux, J., Le Bellec, F., Kreiter, S., Tixier, M. S., et Dubois, P. (2010). Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 52(3), 275-290.
- Makrodimos, N., Blionis, G. J., Krigas, N., et Vokou, D. (2008). Flower morphology, phenology and visitor patterns in an alpine community on Mt Olympos, Greece. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203(6), 449-468.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., et Valantin-Morison M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: A review. Lichtfouse Eric (ed.), Navarrete Mireille (ed.), Debaeke Philippe (ed.), Souchère Véronique (ed.), Alberola Caroline (ed.). Sustainable agriculture: volume 1. Heidelberg : Springer, Allemagne, p. 329-353.
- Mani, M. (2010). Origin, introduction, distribution and management of the invasive spiralling whitefly *Aleurodicus dispersus* Russell in India. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 23(1).
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., et Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in ecology & evolution*, 21(4), 178-185.
- Mohler C.L. et Galford A.E. (1997) Weed seedling emergence and seed survival: separating the effects of seed position and soil modification by tillage. *Weed Res* 37(3):147–155.

- Moonen A.C., et Bàrberi P., 2008. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 7-21.
- Niu, J. Z., Hull-Sanders, H., Zhang, Y. X., Lin, J. Z., Dou, W., et Wang, J. J. (2014). Biological control of arthropod pests in citrus orchards in China. *Biological Control*, 68, 15-22.
- Norris, R. F. (2005). Ecological bases of interactions between weeds and organisms in other pest categories. *Weed science*, 53(6), 909-913.
- Obrycki, J. J. (1986). The influence of foliar pubescence on entomophagous species. *Interactions of plant resistance and parasitoids and predators of insects*, 61-97.
- Obrycki, J. J., et Tauber, M. J. (1984). Natural enemy activity on glandular pubescent potato plants in the greenhouse: An unreliable predictor of effects in the field. *Environ. Entomol.* 13, 679–683.
- O'dowd, D. J., et Willson, M. F. (1989). Leaf domatia and mites on Australasian plants: ecological and evolutionary implications. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37(3), 191-236.
- Pedlowski, M. A., Canela, M. C., da Costa Terra, M. A., et Ramos de Faria, R. M. (2012). Modes of pesticides utilization by Brazilian smallholders and their implications for human health and the environment. *Crop Protection*, 31(1), 113-118.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P. et Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167-234.
- Quilici, S., Francki, A., Montagneux B., et Tassin, J. 1995. Successful establishment in Reunion Island of an exotic ladybird, *Olla v-nigrum*, for the biocontrol of leucaena psyllid, *Heteropsylla cubana*. *Proceedings, Leucaena psyllid: a threat to agroforestry in Africa*, 10-14 October 1994, Dar-es-Salaam, United Republic of Tanzania, FAO, Rome, Italy, 147-154.
- Quilici, S., Vincenot, D., et Franck, A. (2003). *Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de La Réunion*. France : CIRAD - Chambre d'Agriculture de la Réunion. 168 p.

- Rabb, R. L., Stinner, R. E., et van den Bosch, R. (1976). Conservation and augmentation of natural enemies (Vol. 233). *Theory and practice of Biological Control*, ed. C. B. Huffaker & P. S. Messenger. Academic Press, New York. 233-54.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., et Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for sustainable development*, 32(1), 273-303.
- Rees, M., et Westoby, M. (1997). Game-theoretical evolution of seed mass in multi-species ecological models. *Oikos*, 116-126.
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., et Frede, H. G. (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground-and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment*, 384(1), 1-35.
- Roger-Estrade J., Richard G., Dexter AR., Boizard H., De Tourdonnet S., Bertrand M., et Caneill J. (2009). Integration of soil structure variations with time and space into models for crop management. *A Rev Agron Sustain Dev* 29(1):135–142.
- Romero, G. Q., Souza, J. C., et Vasconcellos-Neto, J. (2008). Anti-herbivore protection by mutualistic spiders and the role of plant glandular trichomes. *Ecology*, 89(11), 3105-3115.
- Rosset P.M., et Altieri M.A., (1997). Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources* 10, 283-295.
- Royal Botanic Gardens Kew. (2014) Seed Information Database (SID). Version 7.1. Available from: <http://data.kew.org/sid/> (June 2014)
- Schmidt, R. A. (2014). Leaf structures affect predatory mites (Acari: Phytoseiidae) and biological control: a review. *Experimental and Applied Acarology*, 62(1), 1-17.
- Sivinski, J., Wahl, D., Holler, T., Dobai, S. A., et Sivinski, R. (2011). Conserving natural enemies with flowering plants: Estimating floral attractiveness to parasitic Hymenoptera and attraction's relationship to flower and plant morphology. *Biological Control*, 58(3), 208-214.

- Steiner, M. Y., Goodwin, S., Wellham, T. M., Barchia, I. M., et Spohr, L. J. (2003). Biological studies of the Australian predatory mite *Typhlodromips montdorensis* (Schicha)(Acari: Phytoseiidae), a potential biocontrol agent for western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thysanoptera: Thripidae). *Australian journal of Entomology*, 42(2), 124-130.
- Sütterlin, S., et van Lenteren, J. C. (1997). Influence of Hairiness of *Gerbera jamesonii* Leaves on the Searching Efficiency of the Parasitoid *Encarsia formosa*. *Biological Control*, 9(3), 157-165.
- Tooker, J. F., Hauser, M., et Hanks, L. M. (2006). Floral host plants of Syrphidae and Tachinidae (Diptera) of central Illinois. *Annals of the Entomological Society of America*, 99(1), 96-112.
- Turnbull, L. A., Rees, M., et Crawley, M. J. (1999). Seed mass and the competition/colonization trade- off: a sowing experiment. *Journal of Ecology*, 87(5), 899-912.
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., et Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Walter, D. E. (1996). Living on leaves: mites, tomenta, and leaf domatia. *Annual Review of Entomology*, 41(1), 101-114.
- Walter, D. E., et O'dowd, D. J. (1992). Leaf morphology and predators: effect of leaf domatia on the abundance of predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Environmental Entomology*, 21(3), 478-484.
- Walter, D. E. (1999). Cryptic inhabitants of a noxious weed: Mites (Arachnida: Acari) on *Lantana camara* L. invading forests in Queensland. *Australian Journal of Entomology*, 38(3), 197-200.
- Weiher, E., Werf, A., Thompson, K., Roderick, M., Garnier, E., et Eriksson, O. (1999). Challenging Theophrastus: a common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science*, 10(5), 609-620.
- Westoby, M. (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and soil*, 199(2), 213-227.

- White P.S., et Pickett S.T.A. (1985) Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. Pickett STA, White PS (eds) The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, New York, 3–13
- Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin T., Cornelissen J.H.C, Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P.K., Gulias J., Hikosaka K., Lamont B.B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J.J., Navas M-L., Niinemets U., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E.J., et Villar R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821-827.
- Zhao, Z.M. (2000). The recent study of citrus pest in China. *Entomol. Knowledge*, 37, 110–

Annexes

Annexe 1 : Outils et rendus des différents traitements

(BM) Broyeur à marteau (SML 155 SEPPi®)



(CC) Cover-crop en X (18 disques de 45 cm de diamètre Grégoire & Besson®)



(F)Barre de fauche (Kawasaki®)



(H) Application d'herbicide



Annexe 2 : Références par espèces pour acquisition des traits n'ayant pu être mesurées ou absent de Bosser *et al.*, (1976-2009), Le Bourgeois *et al.*, (1999), Le Bourgeois *et al.*, (2008) et WIKWIO.

***Euphorbia heterophylla* L.**

Devi, N. S., Padma, Y., Narasimhudu, C. L., & Raju, R. V. (2013). Diversity of stomata and trichomes in *Euphorbia* L.-I. Bangladesh Journal of Plant Taxonomy, 20(1), 27-38.

Koptur S, Willian P, Olive Z. 2010. Ants and plants with extrafloral nectaries in fire successional habitats on Andros (Bahamas). Florida Entomologist 93: 89–99.

***Tridax procumbens* L.**

Adedeji, O., & Jewoola, O. A. (2008). Importance of leaf epidermal characters in the Asteraceae family. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 36(2), 7-16.

***Amaranthus viridis* L.**

Ogundipe, O. T., & Kadiri, A. B. (2012). Comparative foliar epidermal morphology of the West African species of Amaranthaceae Juss. Feddes Repertorium, 123(2), 97-116.

***Parthenium hysterophorus* L.**

Marazzi, B., & Sanderson, M. J. (2010).. Large-Scale patterns of diversification in the widespread legume genus *Senna* and the evolutionary role of extrafloral nectaries Evolution, 64(12), 3570-3592.

Rodriguez, E., Dillon, M. O., Mabry, T. J., Mitchell, J. C., & Towers, G. H. N. (1976). Dermatologically active sesquiterpene lactones in trichomes of *Parthenium hysterophorus* L.(Compositae). Experientia, 32(2), 236-238.

***Senna occidentalis* (L.) Link**

Shaukat, S. S., & Siddiqui, I. A. (2007). Comparative population ecology of *Senna occidentalis* (L.) Link, a monsoon desert annual, in two different habitats. Journal of arid environments, 68(2), 223-236.

***Melochia pyramidata* (L.) Britt.**

de Freitas, T. G., de Souza, C. S., Aoki, C., Arakaki, L. M. M., Stefanello, T. H., Sartori, Â. L. B., & Sigrist, M. R. (2013). Flora of Brazilian humid Chaco: Composition and reproductive phenology. *Check List*, 9(5), 973-979.

***Bidens pilosa* L.**

Adedeji, O., & Jewoola, O. A. (2008). Importance of leaf epidermal characters in the Asteraceae family. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36(2), 7-16.

***Ipomoea obscura* (L.) Ker Gawl.**

Folorunso, A. E. (2013). Taxonomic Evaluation of Fifteen Species of *Ipomoea* L.(Convolvulaceae) from South-Western Nigeria using Foliar Micromorphological Characters. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(2).

Keeler, K. H., & Kaul, R. B. (1984). Distribution of defense nectaries in *Ipomoea* (Convolvulaceae). *American journal of botany*, 1364-1372.

Singh, K. P., Shukla, A. N., & Singh, J. S. (2010). State-level inventory of invasive alien plants, their source regions and use potential. *Current Science*, 99(1), 107-114.

***Cardiospermum halicacabum* L.**

Patil, A. G., Joshi, K. A., Patil, D. A., & Chandra, N. (2011). Pharmacognostical Standardization and HPLC fingerprint of *Cardiospermum halicacabum* L stem. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2(2), 343-352.

***Coccinia grandis* (L.) J. Voigt**

Muniappan, R., Reddy, G. V., & Raman, A. (Eds.). (2009). Biological control of tropical weeds using arthropods. Cambridge University Press.

Schaefer, H., & Renner, S. S. (2011). Cucurbitaceae. In *Flowering Plants. Eudicots* (pp. 112-174). Springer Berlin Heidelberg.

***Sida acuta* Burm. f.**

Inamdar, J. A., & CHOHAN, A. J. (1969). Epidermal structure and stomatal development in some Malvaceae and Bombacaceae. *Annals of Botany*, 33(5), 865-878.

***Acanthospermum hispidum* DC.**

Araújo, E. D. L., Xavier, H. S., Ferreira, C. P., Randau, K. P., & Pimentel, R. D. M. Macro and microscopical identification of two *Acanthospermum* medicinal plants.

***Desmodium intortum* (Mill.) Urb.**

Shaheen, A. S. M. (2008). Morphological and anatomical investigations in *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC.(Fabaceae): A new addition to the Egyptian flora. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 15(1), 21-29.

***Teramnus labialis* (L.f.) Spreng.**

Pengelly, B. C., & Eagles, D. A. (1996). Diversity in the tropical legume genus *Teramnus*. *Tropical Grasslands*, 30, 298-307.

***Boerhavia diffusa* L.**

Banjare, L. (2012). *Boerhaavia diffusa* from Traditional Use to Scientific Assessment A Review. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archive*, 3(6).

***Euphorbia hyssopifolia* L.**

Devi, N. S., Padma, Y., Narasimhudu, C. L., & Raju, R. V. (2013). Diversity of stomata and trichomes in *Euphorbia* L.-I. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 20(1), 27-38.

***Ipomoea eriocarpa* R.Brown**

Kirchmair, I., Schmidt, M., Zizka, G., Erpenbach, A., & Hahn, K. (2012). Biodiversity Islands in the Savanna—Analysis of the Phytodiversity on Termite Mounds in Northern Benin. *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica*, 15, 3-14.

***Solanum torvum* Swartz**

O. Adedeji , O.Y. Ajuwon and O.O. Babawale , 2007. Foliar Epidermal Studies, Organographic Distribution and Taxonomic Importance of Trichomes in the Family Solanaceae. *International Journal of Botany*, 3: 276-282.

***Commelina benghalensis* L.**

Adedeji, O., & Jewoola, O. A. (2008). Importance of leaf epidermal characters in the Asteraceae family. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36(2), 7-16.

***Solanum nigrum* L.**

O. Adedeji , O.Y. Ajuwon and O.O. Babawale , 2007. Foliar Epidermal Studies, Organographic Distribution and Taxonomic Importance of Trichomes in the Family Solanaceae. *International Journal of Botany*, 3: 276-282.

***Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit**

Materechera, S. A., Dexter, A. R., & Alston, A. M. (1991). Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Plant and Soil*, 135(1), 31-41.

Pascal, L. M., Motte-Florac, E. F., & McKey, D. B. (2000). Secretory structures on the leaf rachis of Caesalpinieae and Mimosoideae (Leguminosae): implications for the evolution of nectary glands. *American Journal of Botany*, 87(3), 327-338.

Annexe 3 : Exemple vierge d'une fiche de reconnaissance et de caractérisation des traits

Microsoft Access

Fichier Accueil

F_Traits

Espèce *

Famille


Synonyme

NomCommun1

NomCommun2

NomCommun3

IDAO_lien

Lieu de collecte 

Lieu *

latitude

longitude

altitude

Actualiser

fiche incomplète

Surface foliaire * Ajouter une r

Biomasse * Ajouter une r

SLA

Hauteur cm * Ajouter une r

Pds 1000 graines * Ajouter une r

Mode dispersion * Ajouter une r

Multiplication * Ajouter une r

Type biologique * Ajouter une r

Port * Ajouter une r

Domaties * à préciser Ajouter une r

Dens trichom Sup * Ajouter une r

Dens trichom Inf Ajouter une r

Trichome gland * à préciser Ajouter une r

Type feuille * Ajouter une r

Nervure en relief * à préciser Ajouter une r

Recouvrement * Ajouter une r

Gde fleur O/N-mm

Couleur fleur * une référence

Grande inflo * à préciser Ajouter une r

Inflo ouverte * à préciser Ajouter une r

Nectar extraflo * à préciser Ajouter une r

Bioagresseur - précision

Auxiliaire - précision

fermer

Enr : 14 41 sur 41 Non filtré Rechercher

Cirad Réunion-Mayotte

Etablissement public à caractère industriel et commercial, le Cirad est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes. A la Réunion et Mayotte, le Cirad entretient des liens privilégiés avec l'Etat, en particulier les Directions de l'Agriculture et de la Forêt, et avec les collectivités locales, et plus particulièrement le Conseil régional de la Réunion et le Conseil général de Mayotte.

Organisation

Les activités du Cirad à la Réunion et à Mayotte sont organisées en trois dispositifs de recherche, coordonnés par une direction régionale. Chaque dispositif anime des programmes de recherche, des réseaux de coopération régionale et s'implique dans l'enseignement supérieur. Environ 180 salariés permanents, dont 55 chercheurs, 125 techniciens et employés, sont basés à la Réunion, plus un chercheur à Mayotte. Onze unités de recherche du Cirad sont représentées à la Réunion

L'unité Hortsys :

L'unité est structurée en deux équipes : l'équipe Agroécologie, Interactions et Régulations Biologiques dans les systèmes horticoles (Airb) et l'équipe Evaluation et Conception de Systèmes horticoles (Ecos). Elle développe un partenariat actif national et international, à destination des pays du Sud.

Ses activités sont conduites sur des dispositifs basés à Montpellier, dans les départements d'outre-mer de Martinique et Réunion et dans différents pays d'Afrique (Bénin, Kenya, Madagascar, Sénégal), et visent à mettre au point de nouvelles pratiques, de nouveaux systèmes et proposer des outils de gestion et d'aide à la décision permettant d'améliorer les performances agroécologiques des systèmes horticoles.

La station de Bassin-Plat

Située sur la commune de Saint-Pierre à la Réunion, elle comprend 12 hectares de parcelles expérimentales en fruits et légumes, ainsi qu'un ensemble de serres, de bureaux, de laboratoires et de bâtiments agricoles.

Résumé : Les agrumes cultivés à la Réunion sont la cible d'un cortège de bioagresseurs important lesquels entraînent d'importantes pertes de rendements. Le moyen le plus répandu pour lutter contre ces bioagresseurs reste l'utilisation de pesticides. Afin d'en réduire l'usage, la recherche se tourne aujourd'hui vers la (re)conception de systèmes de cultures agroécologiques, en s'inspirant du fonctionnement des écosystèmes naturels. La lutte biologique par conservation en est un exemple. Elle vise la création d'un milieu favorable aux auxiliaires des cultures pour en accentuer l'efficacité. En nous basant sur des concepts tirés de l'écologie fonctionnelle, nous avons testé l'effet sur les espèces adventices d'un changement de stratégie de gestion des enherbements en verger d'agrumes. Pour ce faire nous avons dressé une typologie des espèces basée sur leurs traits d'effets favorables aux auxiliaires. Rares sont les espèces porteuses d'une combinaison idéale de ces traits. Nous avons pu définir les stratégies écologiques que mettent en œuvre ces espèces. La mise en parallèle de leurs potentialités à favoriser la faune auxiliaire et de leurs stratégies écologiques suggère qu'il y aurait des espèces à favoriser dans l'inter-rang, et d'autres à favoriser en bordure de parcelle. Répéter cette expérimentation permettrait d'identifier le meilleur moyen de les favoriser.

Mots clés : lutte biologique, adventices, traits fonctionnels, perturbation, auxiliaires, bioagresseurs

Abstract : Citrus orchards grown in Réunion Island are the target of a wide range of pests resulting in significant yield losses. The use of pesticides remains the most wide-spread mean to fight against these pests. In order to reduce this pesticides use, research is now turning toward the (re)design of agroecological cultures systems, drawing its inspiration from the functioning of natural ecosystems. Conservation Biological Control (CBC) is an example of this concept. It aims to generate an enabling environment for natural enemies as to upgrade their efficiency. In compliance with functional ecology concepts, we assayed the effect a change of weeds management strategy may have on weed species in citrus orchard. To do so, we developed a typology of species based on their effects traits on natural enemies. Scarce are the species showing an ideal combination of favorable effects. We defined the ecological strategies that implement those species. Paralleling their potential to promote natural enemies fauna and their ecological strategies tends to show that there would be some species to be favored in the field, and others to be favored in border of the field. Repeating this experiment may permit to identify the best way to favour them.

Key words : biological control, weeds, functional traits, disturbance, natural enemies, pests